

Aus der  
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie  
Bereich CNESC - Clinical Neuroscience Center for Emotions and Social Cognition  
Prof. Dr. med. Göran Hajak  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

NEURONALE KORRELATE DER ÜBERZEUGUNGSATTRIBUTION  
BEI KINDERN ZWISCHEN ACHT UND ZEHN JAHREN

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Sophie Kilp



Aus der  
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie  
Bereich CNESC - Clinical Neuroscience Center for Emotions and Social Cognition  
Prof. Dr. med. Göran Hajak  
DER FAKULTÄT FÜR MEDIZIN  
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

NEURONALE KORRELATE DER ÜBERZEUGUNGSATTRIBUTION  
BEI KINDERN ZWISCHEN ACHT UND ZEHN JAHREN

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

der  
Fakultät für Medizin  
der Universität Regensburg

vorgelegt von  
Sophie Kilp

Dekan:	Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Göran Hajak
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Thomas Loew
Tag der mündlichen Prüfung:	Dienstag, 03.06.2014



# Zusammenfassung

Für die verschiedenen Komponenten der Theory of Mind, und damit auch für die Belief-Attribution, sind aufgrund der Ergebnisse zahlreicher bildgebender Studien bei Erwachsenen drei Gehirnareale von zentraler Bedeutung: der mediale präfrontale Kortex (mPFC) zusammen mit dem anterioren cingulären Kortex (ACC), der posteriore Sulcus temporalis superior (pSTS) am Übergang zur temporo-parietalen Junction (TPJ) sowie die Temporalpole. Die wenigen bisher durchgeführten bildgebenden Studien an Kindern lassen jedoch entwicklungsbedingte Veränderungen in der Funktion dieser Areale vermuten. Allerdings wurden in diesen Studien meist Kinder und Jugendliche in einer relativ weiten Altersspanne und in unterschiedlichen Stadien der Pubertät untersucht. Doch Studien zur strukturellen Gehirnentwicklung bei Kindern und Jugendlichen wiesen darauf hin, dass sich in diesen Gehirnregionen auch innerhalb der Kindheit und Adoleszenz im Rahmen der Entwicklung unterschiedliche Aktivierungen ergeben.

Deshalb wurden in der vorliegenden fMRT-Studie zur Belief-Attribution bei Kindern nur elf gesunde Probanden in die Versuchsgruppe eingeschlossen, die sich in der engen Altersspanne von acht bis zehn Jahren und zudem nach den Kriterien der Pubertal Development Scale auf einer vor- bis maximal frühpubertären Entwicklungsstufe befanden.

Den Probanden wurden Bildergeschichten präsentiert, in denen sie das Verhalten eines Protagonisten vorhersagen sollten, basierend auf dessen wahrer (True Belief) oder falscher Überzeugung (False Belief) darüber, wo sich ein Objekt befindet. In den Kontrollbedingungen (True und False Realität) sollten die Kinder beurteilen, wo sich der Gegenstand tatsächlich befindet.

Beim Kontrast FB > FR ergaben sich stärkere Aktivierungen bevorzugt in frontalen und postzentralen Arealen sowie im Precuneus und in temporalen Arealen des Kortex.

Der Vergleich der Bedingungen TB > TR erbrachte keine Mehraktivierungen.

Beim Kontrast FB > TB zeigten sich im rechten mPFC sowie im bilateralen inferioren Parietallappen (IPL) als Areale des bekannten ToM-Netzwerkes verstärkte Aktivierungen, außerdem in frontalen, temporalen und postzentralen kortikalen Arealen.

Insgesamt greifen Kinder auf ein deutlich größeres Netzwerk an Gehirnarealen zurück, um bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Belief-Attribution die gleiche Leistung zu erbringen wie Erwachsene. Bezüglich des bekannten ToM-Netzwerkes lassen diese Ergebnisse vermuten, dass Kinder betont frontale Areale bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Belief-Attribution aktivieren, jedoch im vor- bzw. frühpubertären Entwicklungsstadium auch parietale Areale nutzen. Damit erbringt die vorliegende Studie wichtige Aufschlüsse über entwicklungsbedingte Veränderungen der neuronalen Korrelate der Theory of Mind.

# Neural Correlates of Belief Reasoning in Children between eight and ten years

## Key words

fMRI, Belief Reasoning, Theory of Mind, children, medial prefrontal cortex, temporo-parietal junction, unobserved transfer paradigm

## Abstract

Functional imaging studies revealed especially three brain regions that are involved in Belief Reasoning, a central component of Theory of Mind understanding. These brain regions are the medial prefrontal cortex (mPFC) including the anterior cingulate cortex (ACC), the posterior superior temporal sulcus (pSTS) up to the temporo-parietal junction (TPJ) and the temporal poles.

However, the ability to understand Beliefs undergoes considerable changes during development. But until now, only few studies investigated the neural correlates of Belief Reasoning in children. These studies gathered evidence that the brain areas associated with Belief Reasoning undergo developmental changes even beyond the age of about five years, when children reach behavioural mastery of False Belief tasks. These results concerning the functional reorganisation of the neural architecture during development are supported by recent structural MRI studies which have demonstrated that the brain undergoes considerable development throughout childhood and adolescence, continuing into early adulthood.

In the present fMRI study eleven healthy children between eight and ten years were included.

We presented cartoon stories depicting a protagonist acting on his or her False Belief. In the False Belief condition, unbeknownst to the protagonist, an object (e. g. a ball) is transferred from location A (e. g. a bag) to location B (e. g. a box). In the True Belief condition the protagonist witnesses the transfer. The childrens' task was to indicate either where the object is actually located or where the protagonist would search for the object.

False Belief in contrast to False Reality resulted in brain activity especially in frontal and postcentral brain regions as well as in the precuneus and in temporal cortical regions.

The comparison of the conditions True Belief versus True Reality showed no results.

Compared to True Belief, False Belief showed brain activity in the right mPFC and in the bilateral inferior parietal lobe (IPL). It is suggested that these areas are part of the Theory of Mind network.

The results of the present study indicate that the ability to reason about False Beliefs recruits a broader network of cortical areas, especially frontal areas, in children than in adults and supported studies that show the dynamic of the cortical architecture during development.

# Gliederung

<b>1. Einführung und theoretischer Hintergrund</b>	<b>1</b>
1.1 Definition der Theory of Mind	1
1.2 Entwicklung der Belief-Attribution und ihrer Vorläuferfunktionen	2
1.3 Theorien zur Theory of Mind	6
1.3.1 Simulation Theory	6
1.3.2 Theory Theory	6
1.4 Relevante Gehirnareale für die Theory of Mind	7
1.4.1 Medialer präfrontaler Kortex und anteriorer cingulärer Kortex	7
1.4.2 Posteriorer Sulcus temporalis superior und temporo-parietale Junction	9
1.4.3 Temporalpole	10
1.5 Bisherige Studien zur Belief-Attribution bei Kindern	10
1.5.1 Studien zur strukturellen Gehirnentwicklung	11
1.5.2 Funktionelle Daten aus Studien zu anderen Komponenten der Theory of Mind bei Kindern und Jugendlichen	13
1.5.3 fMRT-Studien zur Belief-Attribution bei Kindern	14
1.6 Untersuchungshypothesen und Fragestellungen	17
<b>2. Methoden</b>	<b>20</b>
2.1 Behaviorale Vorstudie	20
2.1.1 Methode	20
2.1.2 Ergebnisse und Diskussion	21



2.2	fMRT-Hauptstudie . . . . .	21
2.2.1	Stichprobe . . . . .	21
2.2.2	Material . . . . .	22
2.2.3	Durchführung der Studie . . . . .	26
2.3	Statistische Analyse . . . . .	27
2.3.1	Versuchsplan . . . . .	27
2.3.2	Analyse der Verhaltensdaten . . . . .	28
2.3.3	Analyse der fMRT-Daten . . . . .	28
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse . . . . .</b>	<b>31</b>
3.1	Verhaltensdaten . . . . .	31
3.2	fMRT-Gruppenanalyse . . . . .	31
3.2.1	Kontrast False Belief versus False Realität (FB > FR) . . . . .	31
3.2.2	Kontrast True Belief versus True Realität (TB > TR) . . . . .	33
3.2.3	Kontrast False Belief versus True Belief (FB > TB) . . . . .	33
<b>4.</b>	<b>Diskussion . . . . .</b>	<b>35</b>
4.1	Allgemeine Interpretation der Ergebnisse . . . . .	35
4.2	Interpretation der Funktion einzelner Gehirnareale bezogen auf die Hypothesen und Fragestellungen der vorliegenden Studie . . . . .	36
4.2.1	Medialer präfrontaler Kortex (mPFC) . . . . .	36
4.2.2	Temporo-parietale Junction (TPJ) . . . . .	38
4.2.3	Temporalpole . . . . .	38
4.2.4	Zusätzliche Areale, die auch in den bekannten Studien zur Belief-Attribution bei Kindern aktiviert wurden . . . . .	39
4.3	Interpretation der Funktion einzelner Gehirnareale mit Hilfe der Ergebnisse aus der bekannten Literatur . . . . .	40
4.3.1	Inferiorer Parietallappen (IPL) . . . . .	40
4.3.2	Precuneus . . . . .	41
4.3.3	Sonstige Gehirnareale . . . . .	42

4.4	Vergleichende Interpretation im Hinblick auf eine fMRT-Studie zur Belief-Attribution bei Erwachsenen mit demselben Paradigma wie in der vorliegenden Studie . . . .	43
4.4.1	Vergleichende Interpretation für den Kontrast FB > FR . . . .	43
4.4.2	Vergleichende Interpretation für den Kontrast TB > TR . . . .	44
4.4.3	Vergleichende Interpretation für den Kontrast FB > TB . . . .	44
4.5	Ausblick auf mögliche weiterführende Untersuchungen . . . .	45
<b>5.</b>	<b>Literaturangaben . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>6.</b>	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>60</b>

# 1. Einführung und theoretischer Hintergrund

## 1.1 Definition der Theory of Mind

Der Mensch unterscheidet sich von allen anderen Lebewesen durch die Fähigkeit, sich selbst und anderen unabhängige mentale Zustände zuzuschreiben, um ein Verhalten zu erklären und vorherzusagen (Gallagher et al., 2000) - d.h. er zeichnet sich durch das Vorhandensein einer Theory of Mind aus. Diese Zuschreibung mentaler Zustände erfolgt sowohl unabhängig vom eigenen mentalen Zustand als auch unabhängig von der Realität.

In der Literatur existieren auch alternative Begriffe für Theory of Mind, manche Autoren sprechen auch vom Vorgang des Mentalizing oder von einem Intentional Stance (Frith & Frith, 2003).

Eine wichtige Komponente der Theory of Mind ist die Zuschreibung von Überzeugungen, den sog. Beliefs, welche das Verhalten bestimmen. Obwohl sich auf Grund von Beliefs ein Großteil aller Handlungen vorhersagen und erklären lässt, gibt es doch Fälle, in denen das Verhalten von Personen nicht nachvollziehbar erscheint. Ein Beispiel wäre, dass Anne nach München fährt, weil sie eine bestimmte Rockband hören will, dabei spielt diese Gruppe gar nicht in München (Aichhorn et al., 2009). Jedoch wird diese Situation dadurch erklärbar, dass ein Verhalten nicht nur darauf beruht, wie die Welt wirklich ist, sondern wie die handelnde Person glaubt, dass sie ist. Folglich bestimmen unsere Beliefs auch unsere Handlungen, wenn sie falsch sind oder nicht von anderen geteilt werden. Wenn man nun diese False Beliefs ebenso mit einbezieht, lässt sich Annes oben genanntes Verhalten wieder erklären, z.B. wenn man weiß, dass sie glaubt, die Band spiele in München, dieses Konzert jedoch ohne ihr Wissen abgesagt wurde.

Wie lässt sich nun erforschen, ob jemand die Fähigkeit besitzt, einer anderen Person einen mentalen Zustand zuzuschreiben? In den meisten Fällen stimmen Realität und Belief einer Person überein, was ihr Verhalten erklärbar macht, indem man nur die Wirklichkeit in seine Überlegungen einbezieht. Daher ist in diesem Fall, also beim sog. True Belief, die Attribution eines mentalen Zustandes gar nicht unbedingt notwendig. Folglich ist allein durch die Zuschreibung eines True Beliefs auch schwer zu überprüfen, ob eine untersuchte Person diese Zuschreibung beherrscht. Aus diesem Grund beschäftigten sich nicht nur Wimmer und Perner (1983) in ihrer ersten Studie zur Theory of Mind, sondern auch viele weitere Autoren mit False Belief-Szenarien, weil nur bei False Beliefs eine Diskrepanz zwischen mentalem Zustand und Realität vorliegt.

Ein Beispiel eines solchen Szenarios, an welches auch das Stimulusmaterial der in dieser Arbeit vorgestellten Studie angelehnt ist, ist das sog. Sally-Anne-Paradigma. In vielen Abwandlungen, sowohl als Erzählungen als auch in Bildergeschichten, wird dargestellt, dass ein Kind, z.B. Sally, eine Murmel in einen Korb legt. Nun verlässt Sally das Zimmer mit dem Korb und Anne nimmt in dieser Zeit die Murmel an sich, um sie in ei-

ner Schachtel zu verstauen. Im Anschluss wird dann die Frage gestellt, wo Sally die Murmel suchen wird, wenn sie in das Zimmer zurückkommt (z.B. Leslie, Friedman & German, 2004).

Normal entwickelte Kinder verstehen bereits im Alter von vier Jahren diese Art von Geschichten und können die Frage richtig beantworten, dass Sally die Murmel im Korb sucht, weil ihrer Überzeugung nach die Murmel immer noch dort liegt. Demnach ist es bei der Beantwortung der Frage notwendig, auf den Belief der Protagonistin zu achten und nicht auf die wahre Lokalisation des Gegenstandes, also auf die Realität (Dennett, 1978; Premack & Woodruff, 1978).

Jüngere Kinder scheitern jedoch noch an dieser Art von False Belief-Aufgaben. Im nächsten Kapitel soll deshalb näher auf die Entwicklungsschritte eingegangen werden, welche ein Verständnis solcher Aufgaben möglich machen.

## **1.2 Entwicklung der Belief-Attribution und ihrer Vorläuferfunktionen**

Wie schon erwähnt, können Kinder mit bereits vier Jahren erfolgreich mit False Belief-Aufgaben umgehen, während jüngere Kinder noch scheitern und beim Sally-Anne-Paradigma genau wie bei True Beliefs die wirkliche Lokalisation des Objektes angeben. Scheinbar können Kinder, die jünger als vier Jahre sind, die Realität und False Beliefs noch nicht unabhängig voneinander repräsentieren. Doch es stellt sich in diesem Fall die Frage, ob der Fortschritt bei der Bearbeitung von False Belief-Aufgaben mit einer wirklichen konzeptuellen Veränderung zusammenhängt. Schließlich wäre es genauso möglich, dass das Konzept der Belief-Attribution in jüngerem Alter zwar schon vorhanden ist, aber durch das Fehlen zusätzlich notwendiger anderer Fähigkeiten noch nicht gezeigt werden kann.

Diese Theorie wird z.B. in einer Studie von Onishi und Baillargeon (2005) vertreten, die der Meinung sind, dass bereits Kinder im Alter von 15 Monaten über eine unabhängige Theory of Mind verfügen und auch in der Lage sind, Aufgaben zum False Belief-Paradigma erfolgreich zu lösen.

Die Autoren dieser Studie berufen sich auf frühere Untersuchungen, in denen Kinder schon bei einer leichten Abänderung des Sally-Anne-Paradigmas ein zumindest implizites Verständnis für False Beliefs zeigten. Wenn ein Versuchsleiter das Paradigma mittels Puppen und Gegenständen nachspielte und nicht die explizite Frage nach der Lokalisation des Objektes stellte („Wo sucht Sally nach der Murmel?“), sondern stattdessen die Kinder dazu brachte, zum Versteck der Murmel zu schauen („Ich frage mich, wo Sally nachschaut.“), fixierte ein Großteil der Kinder das richtige Behältnis (Clements & Perner, 1994; Garnham & Ruffman, 2001).

Um diese These zu untermauern, wurde in der Studie von Onishi und Kollegen (2005) ein verständliches, non-verbales Belief-Szenario dargestellt und mit der Blickzeitmessung erfasst, ob die erfolgte Handlung den Erwartungen der Kinder entsprach. Bei der Versuchsanordnung mit einer Person, einer grünen und einer gelben Schachtel und einem

Spielzeug konnten Kinder im durchschnittlichen Alter von 15 Monaten und sieben Tagen (Range: 14 Monate und 27 Tage bis 15 Monate und 18 Tage) dabei zusehen, wie sich das Spielzeug von einer Schachtel zur anderen bewegte. Für die Kinder war bei diesem Ortswechsel offensichtlich, ob die Person die Bewegung des Objektes ebenfalls sehen konnte oder ob nur die Kinder die Bewegung verfolgen konnten. Wenn nun der Ortswechsel abgeschlossen war, griff die dargestellte Person entweder entsprechend oder entgegen ihres Beliefs bezüglich der Lokalisation des Spielzeuges in eine der beiden Schachteln, während die Blickdauer der Kinder gemessen wurde. Dabei wurde angenommen, dass die Kinder länger hinsehen würden, wenn die Person eine Handlung entgegen der Erwartung des zuschauenden Kindes unternahm. Bei der Auswertung der Blickdauer stellte sich heraus, dass die Kinder fast immer erwarteten, dass die dargestellte Person auch entsprechend ihres Beliefs handeln müsse. Unabhängig davon, ob sich das Spielzeug in der grünen oder in der gelben Schachtel befand, und unabhängig davon, ob die dargestellte Person einen True Belief oder einen False Belief betreffend der Lokalisation hatte, war die Blickdauer immer dann länger, wenn eine Handlung entgegen des Beliefs der Person stattfand.

Für die Autoren liegt somit nahe, dass Kinder selbst im Alter von 15 Monaten bereits ein - wenn auch implizites und rudimentäres - Verständnis dafür haben, dass andere Menschen entsprechend ihrer Beliefs handeln, die nicht unbedingt der Realität entsprechen müssen. Bisher konnte dieser Befund in weiteren unabhängigen Studien jedoch nicht repliziert werden.

Der entwicklungspsychologisch anerkannte Nachweis für ein repräsentationales Verständnis von False Beliefs wird somit erst von ungefähr vierjährigen Kindern mit dem erfolgreichen Lösen von False Belief-Aufgaben erbracht. Trotzdem entwickeln sich bereits von Geburt an verschiedene Fähigkeiten und Vorläuferfunktionen, die ihren Teil dazu beitragen, dass diese unabhängige Repräsentation von Realität und False Beliefs mit vier Jahren stattfinden kann.

Unmittelbar nach der Geburt lässt sich bei Säuglingen eine Präferenz für menschliche Gesichtskonfigurationen erkennen (Johnson & Morton, 1991; Johnson, 2003), wobei den Augen des Gegenübers schon in diesem Alter eine wichtige Rolle als Informationsquelle zugeschrieben wird. Dies wird daran festgemacht, dass Neugeborene bereits zu diesem Zeitpunkt unterscheiden können, ob der Blick einer Person ihnen zu- oder abgewendet ist (Farroni, Csibra, Simion & Johnson, 2002), und dass sie schon sehr früh eine Tendenz zum Verfolgen von Augenbewegungen feststellen lassen (Farroni, Mansfield, Lai & Johnson, 2003). Auch die Imitation von Körperbewegungen wird als Anhaltspunkt für frühe soziale Kognition gewertet, weil Neugeborene spezifisch menschliche Körperbewegungen imitieren im Gegensatz zu ähnlichen Bewegungen unbelebter Objekte (Legers-tee, 1991).

Mit drei Monaten verfolgen Babys selektiv Augenbewegungen, nicht aber Zungenbewegungen (Hood, Willen & Driver, 1997), was die Bedeutung der Augen als wichtige soziale Informationsquelle noch weiter unterstreicht. Zusätzlich scheinen von den Babys Menschen im Gegensatz zu unbelebten Objekten als soziale Interaktionspartner erkannt

zu werden, da sie gegenüber Menschen weit mehr lächeln und vokalisieren als gegenüber interaktiven Objekten (Legerstee, 1992).

Die Erkennung von Lebewesen an ihrer Fähigkeit zur Eigenbewegung findet vermutlich im Alter von etwa sechs Monaten statt. Bei unbelebten Objekten, die sich - z.B. durch einen eingebauten Motor - selbst bewegten, verweilte der Blick des Kindes viel länger, als wenn sich ein Mensch oder Tier selbst fortbewegte (Spelke, Phillips & Woodward, 1995). Diese Unterscheidung zwischen biologischer und mechanischer Bewegung könnte möglicherweise als Vorfertigkeit für das Verständnis von Theory of Mind interpretiert werden.

Als nächsten Entwicklungsschritt zeigen Babys im Alter von etwa neun Monaten, dass sie gewisse Erwartungen bezüglich der Art und Weise hegen, wie ein Ziel durch eine Handlung erreicht wird. Dabei folgen diese Erwartungen dem Rationalitätsprinzip. In einer Studie bekamen Kinder Filme gezeigt, in denen sich ein computeranimierter Ball einem anderen annäherte (Gergely, Nadasdy, Csibra & Bírò, 1995; Csibra, Bírò, Koos & Brockbank, 1999). Anfangs befand sich zwischen beiden Bällen ein Hindernis, sodass der eine Ball über dieses Hindernis hüpfen musste, um den anderen Ball zu erreichen. Wenn dieses Hindernis im Film entfernt wurde und der eine Ball an dieser Stelle trotzdem hüpfte, fanden die Autoren deutlich längere Blickzeiten bei den Babys, als wenn er auf direktem Weg zu dem anderen Ball hinrollte. Dieses Ergebnis konnte in einer Studie von Sodian, Schöppner und Metz (2004) mit Menschen statt computeranimierten Bällen als Stimuli repliziert werden.

Mit zwölf Monaten wird laut Woodward (2003) die Blickrichtung einer Person als Hinweis auf ihr Handlungsziel repräsentiert, auch wenn keine physische Verbindung zwischen Person und Zielobjekt hergestellt wird. Die Babys erwarten, dass eine Person nach dem Objekt greift, das sie auch ansieht (Sodian & Thoermer, 2004). Die Zuschreibung eines Handlungszieles legt nahe, dass in diesem Alter ein Verständnis der Handlung als Mittel zum Erreichen eines bestimmten Zieles besteht, was nach Tomasello (1998; 1999) die Basis für die Einnahme eines mentalen Zustandes bei der Interpretation des Handelns von Personen darstellen könnte. Jedoch ist es den Kindern in diesem Alter noch nicht möglich, aktiv eine Blickrichtung zu verfolgen. Sie folgen dem auf ein Objekt gerichteten Blick eines Erwachsenen nur, wenn sich das betreffende Objekt bereits in ihrem Blickfeld befindet.

Das zuverlässige Verfolgen der Blickrichtung eines Erwachsenen, auch mit einer aktiven Hinwendung zum betreffenden Objekt, zeigen Kinder dann im Alter von 18 Monaten (Butterworth, 1991; Caron, Caron, Roberts & Brooks, 1997; Corkum & Moore, 1995). Des Weiteren fangen Kinder in dieser Entwicklungsphase damit an, nicht nur die Handlungen eines Modells zu imitieren, wenn sie eine vollständig ausgeführte Handlung sehen, sondern auch, wenn das Modell sich bemüht, eine beabsichtigte Handlung auszuführen, ihm dies aber nicht gelingt (Meltzoff, 1995). Außerdem wird der Beginn empathischen Verhaltens von Perner (1991) als Beweis für die Repräsentation mentaler Zustände im Sinne von innerer Erfahrung gewertet. Er begründet diese Schlussfolgerung damit, dass Kinder durch das Missgeschick anderer nicht nur selbst emotional berührt

sind, sondern gleichzeitig versuchen, zu helfen. Auch beim sog. Pretend Play oder Symbolspiel, mit dem die Kinder etwa in diesem Alter beginnen, müssen möglicherweise in einer gewissen Form mentale Zustände repräsentiert werden. Ein Kind nimmt z.B. eine Banane in die Hand und tut so, als würde es damit telefonieren, wobei dem Kind aber zu jedem Zeitpunkt klar ist, dass es eine Banane und kein Telefon in der Hand hat. Von einigen Autoren wird diese Fähigkeit allein dahingehend interpretiert, dass ein Kind im Alter von 18 Monaten die Spielwelt und die Realität voneinander trennen kann (Perner, 1991; Perner, Baker & Hutton, 1994). Im Gegensatz dazu vertritt Leslie (1987; 1994) die Meinung, dass es dem Kind möglich ist, die Realität und die Vorstellung unabhängig voneinander zu repräsentieren, was als frühe Manifestation des Vorhandenseins einer Theory of Mind gewertet wird. Dieses Argument wird auch dadurch unterstützt, dass autistische Kinder die Fähigkeit zum Pretend Play nicht haben und man als Ursache der Erkrankung ein spezifisches ToM-Defizit annimmt (Baron-Cohen, Leslie & Frith, 1985). Insgesamt ist die Wertung des Symbolspiels als Beweis für die Repräsentation mentaler Zustände jedoch umstritten.

Dagegen gilt die Repräsentation von Wünschen und Absichten im Alter von etwa zwei bis drei Jahren eindeutig als Indikator für das Verständnis mentaler Zustände, weil die Kinder zu diesem Zeitpunkt verstehen, dass eine Absicht einer zielgerichteten Handlung vorausgeht, die durch eben diese Handlung erfüllt werden soll. Den Beweis dafür liefern verbale Äußerungen bezüglich eigener Wünsche oder bezüglich der Wünsche anderer Personen, auch wenn die zielorientierte Handlung noch nicht ausgeführt wurde oder nicht zielführend war (Bartsch & Wellman, 1995). Außerdem erkennen Kinder in diesem Alter sicher den Unterschied zwischen physischen und mentalen Entitäten. Wenn einem Dreijährigen gesagt wird, dass Peter einen Hund hat, während Claudia an einen Hund denkt, kann das Kind klar sagen, welchen Hund es streicheln kann (Wellman & Estes, 1986).

Mit vier oder fünf Jahren sind Kinder letztendlich in der Lage, False Belief-Aufgaben korrekt zu lösen. Wenn die Frage nach dem Belief der handelnden Person richtig beantwortet wird, können die meisten Kinder auch weitergehende Handlungsvorhersagen unter Berücksichtigung des False Beliefs der Person machen (Wimmer et al., 1983). Dies deutet nicht nur auf ein repräsentationales Verständnis von False Beliefs hin, sondern lässt den Schluss zu, dass Kinder im Vorschulalter auch ein Verständnis für Handlungskonsequenzen von False Beliefs haben (Sodian & Thoermer, 2006). Doch diese Ergebnisse beziehen sich nur auf False Belief-Szenarien erster Ordnung entsprechend des Sally-Anne-Paradigmas. Wenn es um die Bearbeitung von False Belief-Aufgaben zweiter Ordnung geht („Was denkt Person A, dass Person B glaubt?“), können Kinder erst im Alter von sechs bis sieben Jahren die korrekte Lösung angeben (Perner & Wimmer, 1985).



### 1.3 Theorien zur Theory of Mind

Auch wenn mittlerweile recht gut bekannt ist, wann sich die Theory of Mind mit ihren Vorläuferfunktionen entwickelt, stellt sich die Frage, auf welche Art und Weise der Mechanismus der Perspektivenübernahme stattfindet. Dabei stehen sich zwei Haupttheorien gegenüber, die sog. Simulation Theory und die Theory Theory, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

#### 1.3.1 Simulation Theory

Die Anhänger der Simulation Theory vertreten die Meinung, dass die Attribution mentaler Zustände auf einem Simulationsprozess basiert: Wir projizieren uns in die Situation des anderen, stellen uns vor, was wir in dieser Situation denken und fühlen würden, und attribuieren dann diese simulierten mentalen Erfahrungen auf den anderen (Goldman, 1992; Gordon, 1986; Harris, 1991). Wir „ziehen“ sozusagen auf einer gedanklichen Ebene „die Schuhe einer anderen Person an“ (Saxe & Wexler, 2005) und gehen davon aus, dass diese Person genauso handeln wird, wie wir selbst es auch in einer derartigen Situation tun würden.

Für diese Theorie spricht die Entdeckung eines Systems von sog. Spiegelneuronen in den kortikalen Regionen von Makaken (Gallese, Fadiga, Fogassi & Rizzolatti, 1996), dessen Vorhandensein auch beim Menschen vermutet wird. Diese Spiegelneuronen zeigen Aktivierungen, sowohl wenn ein Mensch selbst eine bestimmte Handlung ausführt, als auch dann, wenn er dieselbe Bewegung bei jemand anderem beobachtet (Gallese & Goldman, 1998). Dabei findet scheinbar eine Unterscheidung zwischen biologischen und nicht-biologischen Handlungen statt, da man nur bei der Beobachtung von Interaktionen zwischen Hand und Objekt Aktivierungen findet und nicht, wenn dieselbe Handlung von einem mechanischen Werkzeug, wie z.B. einer Zange, ausgeübt wird (Rizzolatti, Fogassi & Gallese, 2002). Ähnliche Systeme wurden auch in Bezug auf einige grundlegende Emotionen, wie z.B. Angst und Abscheu, entdeckt (Gallese, Keysers & Rizzolatti, 2004).

#### 1.3.2 Theory Theory

Dagegen steht die Meinung der Vertreter der Theory Theory. Diese besagt, dass eine Theory of Mind auf der Entwicklung einer Theorie basiert - wobei der Begriff „Theorie“ verstanden wird als eine Ansammlung von Prinzipien, mit denen man Phänomene erklärt und vorhersagt - die erfahrungsabhängig verbessert und an die aktuelle Situation angepasst wird (Premack et al., 1978; Flavell, 1999). Das bedeutet, dass eigene Konzepte von mentalen Zuständen und Überzeugungen als Grundlage für die aktive Rekonstruktion der Gedankengänge anderer Personen dienen (Saxe, 2006). Somit benutzen



wir eine Art Psychologie des gesunden Menschenverstandes oder Volkpsychologie (Choudhury, Blakemore & Charman, 2006).

Diese Theorie steht eher mit der Tatsache in Einklang, dass sich die Fähigkeit des Mentalizing erst mit zunehmendem Alter entwickelt, wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt wurde.

#### **1.4 Relevante Gehirnareale für die Theory of Mind**

Für die verschiedenen Komponenten der Theory of Mind, und damit auch für die Belief-Attribution, sind auf Grund der Ergebnisse zahlreicher bildgebender Studien drei Gehirnareale von zentraler Bedeutung. Diese drei Areale sind der mediale präfrontale Kortex (mPFC) zusammen mit dem anterioren cingulären Kortex (ACC), der posteriore Sulcus temporalis superior (pSTS) am Übergang zur temporo-parietalen Junction (TPJ) sowie die Temporalpole. Dass diese Gehirnareale nicht nur in bildgebenden Studien ein funktionelles Netzwerk bilden, sondern auch anatomisch in Zusammenhang stehen, belegt die Entdeckung einer anatomischen Verbindung zwischen dem dorsalen mPFC und dem Sulcus temporalis superior sowie den Temporalpolen bei Rhesusaffen (Bachevalier, Meunier, Lu & Ungerleider, 1997). Den einzelnen Arealen wurden anhand ihrer Aktivierungen bei funktionellen Studien vielfältige Aufgaben zugeschrieben, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

##### **1.4.1 Medialer präfrontaler Kortex und anteriorer cingulärer Kortex**

Eine wichtige Rolle bei der Zuschreibung mentaler Zustände scheinen der mPFC und der ACC zu spielen. Aktivierungen in diesen Arealen zeigen sich bei fast allen ToM-Aufgaben, unabhängig davon, ob verbale Geschichten oder Bildergeschichten präsentiert wurden (Gallagher et al., 2000).

Eine Aufgabe des mPFC könnte die Vorhersage des Verhaltens und die Antizipation weitreichender Konsequenzen dieses Verhaltens, vor allem auf der emotionalen Ebene, sein (Aichhorn, Perner, Kronbichler, Staffen & Ladurner, 2006). Diese Interpretation beruht auf der Erkenntnis, dass verschiedenste Aufgaben zur Attribution von Emotionen bei sich selbst und bei anderen den mPFC aktivieren (Ochsner et al., 2004).

Doch nicht nur in Bezug auf Emotionen, sondern auch im Zusammenhang mit Intentionen scheint der mPFC aktiv zu sein. Nach der sog. „Gateway-Theorie“ (Burgess, Simons, Dumontheil & Gilbert, 2005) befähigt der PFC zu angemessenen geistigen Reaktionen, wenn ankommende Stimuli nicht ausreichend sind, ein Verhalten auszulösen - dies ist z.B. der Fall, wenn es keine vorbestehenden Verhaltensvorgaben gibt oder die Stimuli komplett neu sind - oder wenn Situationen sehr komplex oder zweideutig sind und es mehrere Möglichkeiten für angemessenes Verhalten gibt. Solch eine Situation stellt

nach Ansicht der Autoren das sog. Prospective Memory dar, eine Art der Exekutivfunktion, die definiert ist als die Fähigkeit, eine beabsichtigte Handlung nach einer Verzögerung auszuführen, wie z.B. einen Brief auf dem Weg zur Arbeit einzuwerfen, ohne sich von den vielen Stimuli auf dem Weg von dieser Intention ablenken zu lassen (Burgess, Quayle & Frith, 2001).

Auch bei der Pragmatik spielt dieses Areal vermutlich eine Rolle, d.h. es dient dem allgemeinen Verständnis von Äußerungen. Dies steht im Einklang mit der Bedeutung des Areals im Zusammenhang mit der Theory of Mind, da nach Sperber und Wilson (1995) der Zuhörer die Intention des Sprechers mit in seine Überlegungen einbeziehen muss, um seine Äußerung richtig zu verstehen. Besonders deutlich wird dies bei Aufgaben zum Verständnis von Metaphern oder von Ironie im Vergleich zu wörtlichen Aussagen, die in einer funktionellen Studie den mPFC aktivierten (Bottini et al., 1994).

Dass die Zuschreibung eigener mentaler Zustände ebenfalls den mPFC aktiviert, ist eventuell auch eine Erklärung dafür, warum dieses Areal auch beim Abrufen des autobiografischen Gedächtnisses aktiv ist (Maguire & Mummery, 1999; Maguire, Mummery & Buchel, 2000; Maguire, Vargha-Khadem & Mishkin, 2001). Möglicherweise wird, im Einklang mit einer Theorie von Tulving (1985), eine Art gedankliche „Zeitreise“ durchgeführt, während der vergangene mentale Zustände unabhängig von der Realität repräsentiert werden (Frith et al., 2003).

In Bezug auf die Attribution von Beliefs wird von einigen Autoren vermutet, dass der mPFC ein wichtiges Areal für das sog. „Decoupling“ ist (Frith et al., 2003). Dieser Begriff beschreibt den Vorgang der Unterscheidung zwischen dem realen Zustand der Welt und dem nicht unbedingt damit übereinstimmenden Belief einer Person, welcher deren Verhalten zu Grunde liegt. Doch diese Aufgabe bleibt weiterhin umstritten, da beispielsweise in einer Läsionsstudie ein Patient mit einem ausgedehnten Schaden des mPFC Mentalizing-Aufgaben problemlos lösen konnte (Bird, Castelli, Malik, Frith & Husain, 2004), was die Notwendigkeit dieses Areals für die Belief-Attribution in Frage stellt.

Insgesamt ist augenblicklich nicht klar, welchen Stellenwert der mPFC nun bei der Theory of Mind im Allgemeinen und bei der Belief-Attribution im Besonderen hat. In Studien, die Theory of Mind-Aufgaben physikalische Kontrollbedingungen gegenüberstellten, zeigten sich, zusätzlich zu den anderen Mentalizing-Regionen, immer nur bei den Theory of Mind-Aufgaben Aktivierungen des mPFC (z.B. Fletcher et al., 1995; Gallagher et al., 2000; Vogeley et al., 2001). Auch die Art weiterer Aufgabenstellungen, die den mPFC aktivieren, scheint zumindest eine Beteiligung am Mentalizing naheulegen. So untersuchte eine Studie, welche Gehirnareale bei der Frage „Welches Objekt würde Columbus kennen?“ aktiviert werden (Goel, Grafman, Sadato & Hallett, 1995), und auch hier war neben den Temporalpolen und dem pSTS der mPFC aktiv. In einer weiteren Studie mussten Versuchspersonen das Spiel „Schere, Stein, Papier“ gegen einen Computer spielen, wobei eine randomisierte Abfolge der drei Möglichkeiten programmiert war. Während die Probanden einmal die Anweisungen bekamen, dass sie gegen den Computer spielen würden, zeigte sich keine Aktivität des mPFC. Als man den Versuchspersonen aber sagte, sie würden gegen den Versuchsleiter, also eine andere Person, am Compu-

ter spielen, konnte man Aktivierungen im mPFC nachweisen. Dies wurde von den Autoren dahingehend interpretiert, dass die Aktivität dieses Areals allein vom Intentional Stance der Versuchsperson abhängig war, da die Versuchsbedingungen für die beiden Fälle gleich waren und sich nur die Anweisungen unterschieden.

Während von einigen Autoren weiterhin der mPFC für das Kernareal der Belief-Attribution gehalten wird, sind auch Studien veröffentlicht worden, die eher die Vermutung zulassen, dass das wichtigste Areal für die Belief-Attribution die TPJ ist, die Gegenstand des nächsten Abschnittes ist.

#### 1.4.2 Posteriorer Sulcus temporalis superior und temporo-parietale Junction

Dieses Gehirnnareal ist möglicherweise für eine Vielzahl von Funktionen zuständig, die nicht nur den Vorgang des Mentalizing direkt betreffen, sondern auch dessen Vorläuferfunktionen (Frith et al., 2003).

Eine der Vorläuferfunktionen, die in der TPJ verarbeitet wird, ist die Prozessierung biologischer Bewegung, sie wird also bei der Beobachtung von sich bewegenden Körpern oder Körperteilen (z.B. Bonda, Petrides, Ostry & Evans, 1996; Grèzes, Costes & Decety, 1999; Puce & Perrett, 2003), bei der Beobachtung der Blickrichtung (Hoffman & Haxby, 2000) und von Augenbewegungen (Puce, Allison, Bentin, Gore & McCarthy, 1998) aktiviert.

In einer Studie zur visuellen Perspektivenübernahme (Aichhorn et al., 2006) wurde die TPJ auch aktiviert, was die Autoren zu der Vermutung führte, dass die TPJ möglicherweise für die Repräsentation unterschiedlicher Perspektiven und für die Vorhersage des Verhaltens zuständig ist.

In diesem Zusammenhang schreiben einige Autoren diesem Areal allgemein die Beteiligung an einem Netzwerk der sozialen Kognition zu, wobei im pSTS die anfängliche Analyse sozialer Signale stattfinden könnte. Zu dieser Aufgabe scheinen auch die anatomischen Gegebenheiten passend, da an dieser Stelle die Integration sowohl der ventralen als auch der dorsalen visuellen Bahnen erfolgt. Im Einklang damit vermuten Frith und Frith (1999), dass der STS vielleicht das Verhalten handelnder Personen in Bezug auf deren Ziele und Handlungsergebnisse hin bewertet, was wiederum vereinbar ist mit Aktivierungen in diesem Areal bei Stimuli, die auf die Handlungen und Absichten einer anderen Person hindeuten (Allison, Puce & McCarthy, 2000).

Doch nicht nur bei der Analyse von Absichten, sondern allgemein bei der Verarbeitung mentaler Zustände könnte die TPJ eine Rolle spielen (Aichhorn et al., 2009). In dieser Studie wurden aus jeweils zwei Sätzen und einer Frage bestehende Szenarien als verbale Stimuli verwendet und miteinander verglichen. Dabei handelte es sich um kurze Geschichten, die entweder über die wahre oder falsche Überzeugung einer Person berichteten (True Belief- und False Belief-Bedingung), ein irreführendes Hinweisschild (False Sign-Bedingung) oder ein Foto beschrieben, das zu einem früheren Zeitpunkt gemacht wurde und somit nicht mehr der Realität entsprach (False Photo-Bedingung). Dabei er-

gaben sich signifikante Mehraktivierungen der rechten TPJ beim Vergleich der Bedingung False Belief mit den anderen False-Bedingungen False Sign und False Photo. Die rechte TPJ zeigte insgesamt stärkere Aktivierungen als die linke TPJ. Diese ließ auch beim Vergleich der verschiedenen False-Bedingungen dieser Studie keinen Unterschied in der Stärke der Aktivierungen erkennen. Die Autoren bewerten die Ergebnisse ihrer Studie dahingehend, dass die rechte TPJ für die Verarbeitung mentaler Zustände zuständig ist, während die linke TPJ Fehlinformationen und Perspektivenunterschiede im Allgemeinen verarbeitet.

Diese Beobachtung führt zu der Frage, ob die TPJ abhängig von der Lateralisierung der Aktivität unterschiedliche Aufgaben haben könnte, da manche Studien bei Theory of Mind-Aufgaben von einer bilateralen Aktivierung der TPJ berichten (z.B. Gallagher et al., 2000; Kobayashi, Glover & Temple, 2007), während andere Autoren beim Mentalizing eine Lateralisierung der Aktivität nach rechts beobachteten (z.B. Aichhorn et al., 2009; Mitchell, 2008; Saxe et al., 2005).

#### 1.4.3 Temporalpole

Dieses Gehirnareal zeigt Aktivierungen bei semantischen Entscheidungen (Noppeney & Price, 2002a; 2002b; Vandenberghe, Nobre & Price, 2002), beim Abrufen von Inhalten aus dem autobiografischen Gedächtnis (Fink et al., 1996; Maguire et al., 1999; 2000) und beim Erkennen bekannter Szenen und Gesichter (Nakamura et al., 2000; 2001). Durch diese Funktionen wird nach einer Interpretation von Frith und Kollegen (2003) erfahrungsabhängig ein breiterer semantischer und emotionaler Kontext für das Material generiert, das gerade verarbeitet wird. Dieser Kontext wird nach Meinung der Autoren durch den Abruf von sog. Skripten (Schank & Abelson, 1977) ermöglicht, was beim Mentalizing den Zugang zu sozialem Wissen erlaubt, das dann bei der Interpretation sozialer Situationen hilfreich ist.

Außerdem stellt dieses Areal eine Konvergenzzone für alle sensorischen Modalitäten und möglicherweise auch für limbische Inputs dar (Moran, Mufson & Mesulam, 1987).

Diese drei Areale stellen die Hauptregionen für die Theory of Mind, und damit auch für die Belief-Attribution, dar und wurden in den bisherigen Studien konsistent gefunden.

### 1.5 Bisherige Studien zur Belief-Attribution bei Kindern

Obwohl die Theory of Mind ein Entwicklungsphänomen darstellt, gibt es nur wenige neurowissenschaftliche Studien, die sich mit der Untersuchung der Belief-Attribution bei Kindern befassen haben. Trotzdem sind auf Grund struktureller Daten und einiger funktionseller Studien, entweder zur Belief-Attribution bei Erwachsenen, oder zu anderen Kom-

ponenten der Theory of Mind bei Kindern - wie z.B. zu Wünschen, Intentionen, Emotionen oder zielorientierten Handlungen - Vermutungen darüber vorhanden, welche neuronalen Korrelate bei der Belief-Attribution bei Kindern eine Rolle spielen könnten.

### 1.5.1 Studien zur strukturellen Gehirnentwicklung

Früher dachte man auf Grund der spärlichen Studienlage, dass die Gehirnentwicklung bereits kurz nach der Geburt abgeschlossen sei. Diese allgemein gültige Meinung war bedingt durch Tierexperimente ab den 1950er Jahren, die zeigen konnten, dass die Areale des Gehirns, die für die Sinneswahrnehmung zuständig sind, bald nach der Geburt sensible Perioden durchlaufen, in denen die Stimulation aus der Umwelt grundlegend für eine normale Gehirnentwicklung sowie für eine normale Entwicklung der Sinneswahrnehmung ist (Hubel & Wiesel, 1962). Diese Ergebnisse konnten in späteren Studien für die menschliche Gehirnentwicklung repliziert werden, da auch im ersten Lebensjahr des Menschen sensible Perioden für die Sinneswahrnehmung, wie z.B. für die Kategorisierung von Geräuschen, auftreten (Kuhl, Williams, Lacerda, Stevens & Lindblom, 1992). Dass nach diesen frühen sensiblen Perioden noch weitere substantielle Veränderungen im menschlichen Gehirn stattfinden könnten, schien daher unwahrscheinlich. Es dauerte bis in die späten 1960er und 1970er Jahre, bis post mortem-Untersuchungen an menschlichen Gehirnen ergaben, dass sich manche Gehirnareale, und besonders der präfrontale Kortex, bis weit in die frühe Kindheit hinein weiterentwickeln. Vor allem dem Zeitpunkt der Pubertät und dem Jugendalter wurde dabei eine große Bedeutung bei der strukturellen Veränderung des präfrontalen Kortex zugeschrieben (Huttenlocher, 1979; Huttenlocher, De Courten, Garey & Van der Loos, 1983; Yakovlev & Lecours, 1967).

Doch erst mit Etablierung der fMRT-Bildgebung war es möglich, auf nicht-invasive Weise und in vivo das Kortextwachstum über die Kindheit und Jugend hinweg bis ins Erwachsenenalter zu verfolgen, was neue Erkenntnisse über die Gehirnentwicklung in den unterschiedlichen Arealen zuließ.

Bei einer Längsschnittstudie, die nicht nur die Kortextdicke, sondern auch allgemein das Wachstum des Gehirnes untersuchte (Sowell et al., 2004), stellten die Autoren fest, dass sich bei den in diesem Fall wiederholt untersuchten Kindern zwischen fünf und elf Jahren das Gehirn jährlich bis zu einem Millimeter ausdehnte. Diese Größenzunahme zeigte sich vor allem im präfrontalen Kortex an der lateralen sowie der interhemisphärisch gelegenen Oberfläche und außerdem in bilateralen temporalen und in occipitalen Regionen. Obwohl an diesen Stellen das Gehirn insgesamt wächst und seine Größe zunimmt, wies man zur selben Zeit und an denselben Stellen eine Ausdünnung der kortikalen grauen Substanz nach. Dieser Vorgang wurde auch schon in anderen bildgebenden Studien zur Gehirnentwicklung beschrieben (z.B. Giedd et al., 1999; Pfefferbaum et al., 1994; Sowell, Thompson, Tessner & Toga, 2001), die alle von einem Verlust von grauer Substanz und einer gleichzeitigen Zunahme des Volumens an weißer Substanz berichten.

Was die Zunahme an weißer Substanz betrifft, kommen die verschiedenen Autoren

alle zu derselben Interpretation, dass dies wohl ein Vorgang ist, der die zunehmende Axonmyelinisierung widerspiegelt (z.B. Giedd et al., 1999; Gogtay et al., 2004). Die Myelinisierung als Ausdruck der Reifung des Gehirns schreitet linear über die ersten vier Lebensdekaden fort (Gogtay et al., 2004), wobei sie teilweise sogar bis zum Alter von 60 Jahren andauert (Sowell et al., 2003). Auf Grund zunehmender Myelinisierung wird nach der gängigen Meinung in der Literatur die Reizweiterleitung zwischen den einzelnen Nervenzellen schneller und somit können die neuronalen Verschaltungen effizienter genutzt werden.

Doch die Zunahme des Volumens an weißer Substanz kann nicht der alleinige Grund für den Verlust der grauen Substanz sein. Eine zweite Ursache ist vermutlich die Aussortierung von im Überschuss angelegten Synapsen. Während ältere Querschnittsstudien von einer ebenso linearen Abnahme der kortikalen grauen Substanz ausgingen, konnte in neueren Studien gezeigt werden, dass die Entwicklung der grauen Substanz sowohl in spezifischen Regionen (Giedd et al., 1999; Gogtay et al., 2004) als auch abhängig von der evolutionären Sequenz der Entstehung der verschiedenen Kortexareale unterschiedlich verläuft (Gogtay et al., 2004; Shaw et al., 2008).

So berichten Shaw und Kollegen in einer Studie von 2008, dass sich nach ihren Ergebnissen die zytoarchitektonisch unterschiedlichen Kortexformen auch mit unterschiedlicher Komplexität entwickeln. Während der älteste und primitiv in drei Schichten gegliederte Allokortex im Verlauf eine lineare oder eher einfache quadratische Entwicklung zeigt, lässt sich in den Regionen des komplexer aufgeteilten sechsschichtigen Isokortex eine kompliziertere kubische Entwicklung - d.h. ein Kortexwachstum in der Kindheit, ein Rückgang der Dicke während der Adoleszenz und eine Stabilisierung im Erwachsenenalter - assoziieren. Der Übergangskortex nimmt sowohl vom Aufbau her als auch bezüglich seiner Entwicklung eine dazwischenliegende Stellung ein.

Zusätzlich stellten andere MRT-Studien arealspezifische Veränderungen im Volumen der grauen Substanz fest. In einer Veröffentlichung von Giedd und Kollegen (1999) wurde die Entwicklung der grauen Substanz bei 145 gesunden Versuchspersonen im Alter von 4,2 bis 21,6 Jahren mit mehreren Scans im Abstand von ungefähr zwei Jahren untersucht. Dabei nahm das Volumen im Frontal-, Parietal- und Temporallappen zu, bis in einem bestimmten Alter ein Maximum an grauer Substanz erreicht wurde. Im Frontal- und Parietallappen war der Gipfel dieser präadoleszenten Zunahme bei Mädchen im Alter von 11,0 bzw. 10,2 Jahren und bei Jungen im Alter von 12,1 bzw. 11,8 Jahren erreicht. Das höchste Volumen an grauer Substanz im Temporallappen fand sich jedoch erst mit 16,5 Jahren für Jungen und 16,7 Jahren für Mädchen. Anschließend ließ sich eine Abnahme des Volumens feststellen, die in einem Nettoverlust an grauer Substanz resultierte. Im Gegensatz dazu nahm die graue Substanz im Occipitallappen während der untersuchten Zeitspanne linear zu. Die Autoren brachten den Zeitpunkt, an dem im Frontal- und Parietallappen das Volumenmaximum an grauer Substanz erreicht war, auf Grund des um etwa ein Jahr früheren Auftretens bei Mädchen, mit dem Beginn der Pubertät in Zusammenhang und vermuteten, dass die Umstellung des Hormonhaushaltes Einfluss auf die Gehirnentwicklung haben könnte.



Dieser Meinung schließen sich auch Gogtay und Kollegen in einem Artikel aus dem Jahr 2004 an. Auch hier wurde ein mit der Pubertät einsetzender Verlust an Volumen der grauen Substanz gefunden. Jedoch vermuteten die Autoren zusätzlich, dass die Entwicklung der grauen Substanz auch mit der funktionellen Ausreifung des Gehirns übereinstimmt. Als Ergebnis ließ sich verzeichnen, dass die Reifungssequenz mit regional bedeutenden Meilensteinen der kognitiven und funktionellen Entwicklung einherging, da Areale mit eher grundlegenden Funktionen, wie z.B. der sensomotorische Kortex, früh ausreifen, während andere, komplexere und integrative Areale erst dann reifen, wenn die grundlegenden Regionen vollständig ausgereift waren. Dies könnte laut der Interpretation der Autoren darauf hinweisen, dass manchen Störungen der neuronalen Entwicklung möglicherweise Veränderungen im Ausmaß oder im zeitlichen Ablauf dieser Reifungsmuster zu Grunde liegen.

Insgesamt legen die Studien zur strukturellen Gehirnentwicklung nahe, dass sich das menschliche Gehirn noch bis ins Erwachsenenalter hinein verändert, wobei dem Beginn der Pubertät besonders in Verbindung mit der Entwicklung der grauen Substanz eine große Bedeutung zuzukommen scheint.

#### 1.5.2 Funktionelle Daten aus Studien zu anderen Komponenten der Theory of Mind bei Kindern und Jugendlichen

Doch während der Pubertät finden nicht nur signifikante neuroanatomische Veränderungen in bestimmten Gehirnregionen statt, sondern auch die funktionelle Gehirnentwicklung schreitet weiter fort. Dabei lassen sich neben Veränderungen der Intelligenz oder der Exekutivfunktionen auch Veränderungen der sozialen Kognition feststellen (für einen Überblick siehe Blakemore & Choudhury, 2006).

Diese Veränderungen bezüglich des Social Brain, also der neuronalen Verschaltungen, die für die soziale Kognition zuständig sind, wurden in Bezug auf die Entwicklung der Erkennung von Mitmenschen, der Prozessierung von Emotionen, der Perspektivenübernahme sowie der Zuschreibung mentaler Zustände untersucht (siehe Reviews von Choudhury et al., 2006; Blakemore, 2008).

So wiesen mehrere Studien nach, dass die Leistungen bei Aufgaben zur Gesichtserkennung (Carey, Diamond & Woods, 1980; Diamond, Carey & Black, 1983) oder zur Zuordnung emotionaler Gesichter zu passenden emotionalen Wörtern (McGivern, Andersen, Byrd, Mutter & Reilly, 2002) bei Mädchen, die sich vom Entwicklungsstand her gerade in der Mitte der Pubertät befanden, eine auffallende Verschlechterung im Vergleich zu gleichaltrigen, noch nicht pubertären Mädchen zeigten. Außerdem schienen Jugendliche bei derartigen Aufgaben, wie z.B. beim Betrachten von ängstlichen Gesichtern (Yurgelun-Todd & Killgore, 2006) in einigen lateralen und superioren präfrontalen Arealen verstärkte Aktivität zu zeigen - Mädchen bilateral, Jungen rechtslateralisiert - wobei die frontale Aktivität von der Kindheit zur Adoleszenz hin möglicherweise ansteigt. In einer anderen fMRT-Studie, die die Gehirnaktivität von Jugendlichen und Erwachse-

nen beim Betrachten von ängstlichen Gesichtern verglich (Monk et al., 2003), aktivierten nur die Jugendlichen den ACC und den orbitofrontalen Kortex, was auf eine Abnahme der frontalen Gehirnaktivität zwischen Jugend- und Erwachsenenalter hinweist.

Eine weitere Studie (Burnett, Bird, Moll, Frith & Blakemore, 2008) untersuchte die Prozessierung von sozialen Emotionen bei Jugendlichen im Vergleich zu Erwachsenen, wobei soziale Emotionen in dieser Studie als Emotionen definiert wurden, die die Repräsentation mentaler Zustände erfordern, wie z.B. Scham, Schuld oder Stolz. Hier kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass sich die hauptsächliche Aktivität im Mentalizing-Netzwerk mit zunehmendem Alter von eher anterior gelegenen Arealen, also dem mPFC, zu weiter posterioren temporalen Arealen - dem pSTS an der TPJ - verschiebt.

Des Weiteren ließen sich bei Aufgaben zur Perspektivenübernahme (Choudhury et al., 2006) altersabhängige Unterschiede in der Reaktionszeit feststellen. Dazu wurden die Reaktionszeiten von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen bei der Bearbeitung von Szenarien in der ersten und dritten Person verglichen. Die Ergebnisse legen nahe, dass während der Adoleszenz die Perspektivenübernahme effizienter wird. Auch in dieser Studie kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die synaptische Reorganisation vor allem des frontalen und parietalen Kortex während der Jugend vermutlich Auswirkungen auf die Prozesse der sozialen Kognition hat, die in diesen Gehirnarealen stattfinden, wie z.B. die Perspektivenübernahme und das Mentalizing. In einer funktionellen Studie, in der Kinder und Erwachsene entscheiden sollten, ob Sätze über akademische Fertigkeiten und soziale Kompetenzen auf sie selbst oder auf eine andere, ihnen bekannte Person zutreffen (Pfeifer, Lieberman & Dapretto, 2007), zeigten Kinder ebenfalls stärkere Aktivität im mPFC und ACC beim Nachdenken über sich selbst im Vergleich zu anderen. Auch hier scheinen also frontale Areale bei Kindern größere Bedeutung zu haben als bei Erwachsenen.

Die letzten beiden Studien, die hier erwähnt werden sollen, untersuchten die Entwicklung der neuronalen Netzwerke für die Verarbeitung von Absichten (Mosconi, Mack, McCarthy & Pelphrey, 2005; Blakemore, den Ouden, Choudhury & Frith, 2007). Die Ergebnisse dieser Studien legen prinzipiell gleiche Aktivierungsmuster bei Kindern und Erwachsenen nahe, was das bekannte ToM-Netzwerk aus mPFC und STS betrifft. Allerdings konnte auch hier wieder beobachtet werden, dass sich die relative Bedeutung der einzelnen Komponenten des ToM-Netzwerkes mit dem Alter dahingehend verändert, dass die Hauptaktivität von eher anterioren Regionen - also dem mPFC - zu weiter posterior gelegenen Regionen, also dem STS an der TPJ, wandert. Zudem scheinen jüngere Probanden zusätzliche Areale innerhalb des mPFC zu benutzen, um die gleiche Leistung wie die Erwachsenen zu erzielen.

### 1.5.3 fMRT-Studien zur Belief-Attribution bei Kindern

Eine der bisher veröffentlichten fMRT-Studien zum Thema Belief bei Kindern (Kobayashi et al., 2007) verglich einerseits verbale und non-verbale False Belief-Aufgaben sowie



eine Stichprobe von Kindern mit einer Stichprobe von erwachsenen Versuchspersonen. Als verbale Stimuli wurden Erzählungen über False Beliefs zweiter Ordnung verwendet, während Erzählungen über kausale Abfolgen von Handlungen als Kontrollbedingung dienten. Analog dazu wurden Bildergeschichten über False Beliefs zweiter Ordnung und als Kontrolle Bildergeschichten über Handlungen ohne Beliefs als non-verbale Stimuli benutzt. Die „baseline“-Bedingung waren lose Satzfolgen als verbale sowie vermischte Bilder als non-verbale Stimuli. Durch diese Unterscheidung zwischen verbalen und non-verbalen Stimuli sollte untersucht werden, ob es modalitätsspezifische Unterschiede bei der Bearbeitung von False Belief-Aufgaben gibt, also ob möglicherweise verbale False Beliefs zu Aktivierungen in anderen Gehirnarealen führen als non-verbale False Beliefs. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob sich abhängig vom Alter der Probanden unterschiedliche Aktivierungen bei der Bearbeitung von Aufgaben zu False Beliefs ergeben. Deshalb bestand eine Gruppe von Versuchspersonen aus 16 gesunden Erwachsenen im mittleren Alter von 27 Jahren mit einer Streubreite von 18 bis 39 Jahren. In der Vergleichsgruppe befanden sich zwölf gesunde Kinder. Das durchschnittliche Alter der teilnehmenden Kinder betrug neun Jahre und acht Monate, wobei die Streubreite von acht Jahren bis elf Jahre und sechs Monate reichte. Als Ergebnisse wurden der Alterseffekt, also der Kontrast Kinder versus Erwachsene, der Effekt der Bedingung, d.h. ToM versus non-ToM, sowie die Interaktion von Alter und Bedingung betrachtet. Der Alterseffekt ergab bei Kindern stärkere Aktivierungen im linken Gyrus temporalis superior, im rechten mPFC, im rechten Gyrus frontalis medialis und im rechten ventralen Gyrus frontalis inferior. Beim Vergleich der Bedingungen zeigten sich im rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex bzw. im Gyrus frontalis medialis, im rechten inferioren Parietallappen, im rechten Gyrus occipitalis medialis und in der bilateralen TPJ Aktivierungen. Aus der Interaktion von Alter und Bedingung ging hervor, dass Kinder bei False Belief-Aufgaben den rechten Gyrus temporalis superior, den rechten Temporalpol, den Cuneus und den rechten ventromedialen präfrontalen Kortex stärker aktivierten.

Die Ergebnisse deuten nach Meinung der Autoren darauf hin, dass im Allgemeinen die Aktivierungsmuster von Kindern und Erwachsenen relativ unterschiedlich sind. Trotzdem zeigten beide Altersgruppen auch ähnliche Aktivierungen beim Kontrast ToM versus non-ToM. Dies lässt vermuten, dass es für die Belief-Attribution sowohl alters- und modalitäts-unabhängige als auch -abhängige Areale gibt. Des Weiteren wurden nur die bilaterale TPJ und der inferiore Parietallappen bei der ToM-Bedingung stärker aktiviert als bei der non-ToM- oder „baseline“-Bedingung, was eher für die TPJ statt des mPFC als Kern-region für die Belief-Attribution spricht. Der auffälligste Unterschied in der Aktivierung bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen zeigte sich im rechten Gyrus temporalis superior, der per se keine Theory of Mind-Region darstellt, jedoch nach Interpretation der Autoren mit Mentalizing-Vorläufern, wie z.B. dem Verfolgen von Blickrichtungen, assoziiert wird. Abschließend kann festgestellt werden, dass Kinder bei der Bearbeitung von False Belief-Aufgaben im Vergleich mit Erwachsenen mehrere zusätzliche Areale aktivieren, was entweder damit begründet werden kann, dass für Kinder die Bearbeitung der Aufgaben anstrengender war als für Erwachsene, oder dass entwicklungsbedingt bei Kindern noch

nicht alle Gehirnareale vollständig ausgereift sind, die für die Belief-Attribution bedeutsam sind, und deshalb auf zusätzliche Areale zurückgegriffen werden muss. Für die Autoren erscheint jedoch die Begründung durch einen Entwicklungsunterschied wahrscheinlicher, da es insgesamt keine Unterschiede bei den Leistungen von Kindern und Erwachsenen gab.

Eine zweite Studie zum Thema Belief bei Kindern (Sommer et al., 2010) verglich ebenfalls Kinder und Erwachsene bei der Bearbeitung von Bildergeschichten, die True Belief- bzw. False Belief-Situationen zeigten. Als Stimuli wurden Cartoons mit zwei Kindern als Protagonisten entsprechend dem Sally-Anne-Paradigma verwendet. Bei diesen Bildergeschichten war der Ausgang der Geschichten von Bedeutung, da in der Hälfte der Fälle die Hauptperson am erwarteten Ort suchte, d.h. passend zu ihrem - je nach Art der Geschichte - True oder False Belief. Die andere Hälfte der Geschichten endete mit einem Bild, auf dem das Kind entgegen seines Beliefs handelte, sie nahmen also einen unerwarteten Ausgang. In die Versuchsgruppe wurden zwölf Kinder im Alter von zehn bis zwölf Jahren eingeschlossen (mittleres Alter 11,3 Jahre), die mit einer Gruppe von zwölf Erwachsenen (im Mittel 32,7 Jahre alt) verglichen wurde. Bezüglich der Verhaltensdaten zeigte sich, dass die Kinder genauso schnell ihre Antworten gaben wie die Erwachsenen und auch in etwa gleich oft die Aufgabe richtig lösen konnten. Beim Betrachten des Kontrastes FB > TB zeigten beide Gruppen ausschließlich verstärkte Aktivierungen im dorsalen mPFC und im dorsalen ACC. Wenn jedoch isoliert die Aktivierungen der Kinder berücksichtigt wurden, konnten beim selben Kontrast breitere Signale festgestellt werden. Hier wurde im superioren mPFC, im dorsalen ACC, in der rechten Insula und im posterioren cingulären Kortex eine stärkere Aktivität nachgewiesen. Die Interaktion von Gruppe und Belief ergab beim Kontrast FB > TB verstärkte Aktivierungen im posterioren cingulären Kortex und im rechten rostralen präfrontalen Kortex bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen.

Diese Ergebnisse wurden dahingehend bewertet, dass Kinder den mPFC nicht nur weitläufiger, sondern bei False Belief-Aufgaben auch stärker aktivieren. Daher spielt bei Kindern der mPFC vermutlich noch eine sehr wichtige Rolle bei der Verarbeitung sozialer Informationen, wobei diese Aktivität jedoch mit steigendem Alter abzunehmen scheint. Dies könnte möglicherweise im Zusammenhang mit den bereits erläuterten entwicklungsbedingten Veränderungen der Gehirnstruktur während der Pubertät und Adoleszenz stehen. Im Gegensatz zu der starken Aktivierung des mPFC bei Kindern zeigten Erwachsene bei False Belief-Aufgaben eine stärkere Aktivität der TPJ. Eine Erklärung dafür wäre ein altersbedingter Shift bezüglich der Wichtigkeit dieser beiden Areale - während im Kindesalter hauptsächlich der mPFC für die Prozessierung sozial wichtiger Informationen herangezogen wird, übernimmt mit steigendem Alter die TPJ immer mehr diese Aufgabe.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass, wenn auch die Kinder in etwa gleiche Leistungen bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Belief-Attribution erzielen wie Erwachsene, sie aber andere neuronale Voraussetzungen haben und deshalb verstärkte oder diffusere Aktivierungen zeigen. Aus diesem Wissen stellt sich für unsere wissenschaftliche Arbeit die Frage, wie sich diese Unterschiede funktionell darstellen lassen.

## 1.6 Untersuchungshypothesen und Fragestellungen

Da die neuronalen Korrelate der Theory of Mind, und im Besonderen der Belief-Attribution, in der Mehrzahl der bisher erfolgten neurowissenschaftlichen Studien an Erwachsenen untersucht wurden, sollte sich das Augenmerk der in dieser Arbeit vorgestellten Studie auf die Entwicklung der Belief-Attribution richten, indem nur Kinder im Alter von acht bis zehn Jahren als Versuchspersonen eingeschlossen wurden. Die Probanden sollten sich, im Gegensatz zu der Studie von Kobayashi und Kollegen (2007) in dieser engen Altersspanne befinden, um einen möglichst gleichen Entwicklungsstand der Kinder voraussetzen zu können. Wie im vorhergehenden Kapitel bereits beschrieben, spielt auch der Beginn der Pubertät eine entscheidende Rolle im Zuge der strukturellen und somit möglicherweise auch der funktionellen Gehirnentwicklung. Daher wollten wir für unsere Arbeit möglichst eingrenzen können, dass sich die teilnehmenden Versuchspersonen noch auf einer vor- bzw. frühpubertären Entwicklungsstufe befinden. Aus diesem Grund nahmen wir einen Pubertätsfragebogen (Pubertal Development Scale) in die Auswahlkriterien für unsere Testpersonen mit auf. Ebenso wurde das Alter der Probanden im Vergleich zu einer der bisher veröffentlichten Studien (Sommer et al., 2010), welche die neuronalen Korrelate der Belief-Attribution bei Kindern im Alter von zehn bis zwölf Jahren untersuchte, herabgesetzt, um mögliche entwicklungsbedingte Veränderungen in der Gehirnaktivität von vor- bzw. frühpubertären Kindern im Vergleich zu Kindern, die sich gerade in der Pubertät befinden, herauszustellen.

Als Stimuli der hier vorgestellten Studie wurden Bildergeschichten ähnlich dem Sally-Anne-Paradigma verwendet, wobei den beiden Belief-Bedingungen (True und False Belief) jeweils eine nichtmentale Kontrollbedingung zugeordnet wurde (True und False Realität), die sich nur durch die Fragestellung von den Belief-Bedingungen unterschieden und die zur Beantwortung einen Abgleich mit der Realität erforderten (zur näheren Beschreibung des Paradigmas siehe Kapitel 2.2.2). Dieses Paradigma wurde in einer anderen Studie zur Belief-Attribution (Schuwerk, 2010) von erwachsenen Versuchspersonen bearbeitet.

In Zusammenschau der bisher vorgestellten Studien scheinen Kinder prinzipiell bei der Belief-Attribution das gleiche Netzwerk zu aktivieren wie Erwachsene, weswegen Aktivierungen des mPFC, und dort insbesondere des ACC (BA 8/9), Aktivierungen der TPJ bis zum pSTS (BA 39/40/22) sowie Aktivierungen der Temporalpole (BA 38) auch für Kinder wahrscheinlich sind. Doch im Hinblick auf die strukturellen Reifungsprozesse des Gehirns im Kindes- und Jugendalter könnten sich möglicherweise auch noch weitere Areale zeigen, die bei Kindern den Prozess der Belief-Attribution unterstützen. Eventuell spielen besonders zusätzliche Areale im frontalen Kortex bei Kindern eine wichtige Rolle (Sommer et al., 2010).

Analog zu den Veröffentlichungen von Den Ouden, Frith, Frith & Blakemore (2005), Gallagher und Frith (2003) und Sommer et al. (2007) kann man auch in Bezug auf die vorliegende Studie vermuten, dass eine wichtige Aufgabe des mPFC in Bezug auf die Belief-Attribution das Decoupling darstellt, daher lassen sich bei False Belief-Aufgaben

stärkere Aktivierungen im Vergleich zur Kontrollbedingung erwarten als bei True Belief-Aufgaben. Im direkten Vergleich der beiden Belief-Bedingungen, also False Belief > True Belief, sollte sich ebenfalls eine verstärkte Aktivierung des mPFC ergeben (Schuwerk, 2010), da nur bei False Beliefs ein Decoupling notwendig ist.

Auf Grund der unterschiedlichen Vorbefunde stellt sich die Frage, ob Kinder im Altersbereich von acht bis zehn Jahren beim Vergleich der beiden Belief-Bedingungen mit der jeweils entsprechenden Kontrollbedingung verstärkte Aktivität in der TPJ bis zum pSTS zeigen. Analog zu den TPJ-Aktivierungen, die in den bekannten Studien bei Erwachsenen gefunden wurden (z.B. Schuwerk, 2010; Sommer et al., 2007), konnte auch die Studie von Kobayashi und Kollegen (2007) bei Kindern ebenfalls eine verstärkte Aktivität der TPJ bei der Belief-Attribution nachweisen. Im Gegensatz dazu steht die Untersuchung von Sommer et al. (2010), die bei Kindern zwischen zehn und zwölf Jahren keine stärkere Aktivierung der TPJ ergab.

Eine weitere Fragestellung bezüglich der TPJ ist, ob Kinder bei der Belief-Attribution eine Lateralisierung der Aktivität nach rechts zeigen. Einige Autoren vertreten die Meinung, dass die bilaterale TPJ für Beliefs zuständig sei (z.B. Gallagher et al., 2000; Kobayashi et al., 2007). Im klaren Widerspruch dazu stehen die Ergebnisse von Saxe et al. (2005), Mitchell (2008) und Aichhorn et al. (2009), die allesamt zu dem Schluss führen, dass nur die rechte TPJ eine Rolle bei der Belief-Attribution spielt.

Was die Temporalpole betrifft, kann man auch in Bezug auf die vorliegende Studie davon ausgehen, dass sich dort vermutlich eine Aktivierung bei False Beliefs nachweisen lässt, da dieses Areal laut vielen vorhergehenden Studien für das Abrufen von sozialen Skripten und die Einbettung des Beliefs in einen weiteren semantischen und emotionalen Kontext zuständig ist (z.B. Gallagher et al., 2003; Kobayashi et al., 2007).

Wie schon am Anfang dieses Kapitels erwähnt, geht aus den wenigen Studien zur Belief-Attribution bei Kindern hervor, dass Kinder bedingt durch den Entwicklungsunterschied stärkere und vor allem diffusere Aktivierungen bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Theory of Mind im Allgemeinen und zu Beliefs im Besonderen zeigen als Erwachsene. Folglich wird die vorliegende Studie wahrscheinlich nicht nur in den drei Hauptarealen der Belief-Attribution Aktivierungen finden, sondern auch in einer Vielzahl weiterer Gehirnareale, die zusätzlich zur Verarbeitung von Beliefs herangezogen werden. Die bereits vorgestellte Studie von Kobayashi und Kollegen (2007) erfasste bei Kindern stärkere Aktivierungen des linken Gyrus temporalis superior, des rechten mPFC, des rechten Gyrus frontalis medialis und des rechten ventralen Gyrus frontalis inferior. Laut Sommer und Kollegen (2010) fand sich verstärkte Aktivität im superioren mPFC, im dorsalen ACC, in der rechten Insula sowie im posterioren cingulären Kortex. Es ist zu erwarten, dass auch in der vorliegenden Studie einige dieser Areale aktiviert werden.

## 2. Methoden

### 2.1 Behaviorale Vorstudie

Vor Beginn der eigentlichen funktionellen Messungen wurde das im vorhergehenden Kapitel bereits beschriebene Paradigma zuerst an einigen Kindern getestet, die sich vom Alter her in der geplanten Gruppe befanden. Ziel dieser Vorstudie war, herauszufinden, ob das Paradigma für die geplante Altersgruppe verständlich ist und ob die Kinder mit der Geschwindigkeit und Dauer der geplanten Untersuchung zurechtkommen.

#### 2.1.1 Methode

An dieser Vorstudie nahmen acht Kinder, vier Mädchen und vier Jungen, im mittleren Alter von 8.00 Jahren ( $SD = .68$ ) mit einer Altersspanne von 7.00 bis 8.75 Jahren teil, die im Bekanntenkreis und von einer Schule in Straubing-Alburg angeworben wurden. Das Paradigma wurde bei den jeweiligen Kindern zu Hause an einem Laptop der Firma Toshiba gezeigt, erklärt und geübt und anschließend wurde die Experimentalbedingung durchgeführt.

Der Ablauf dieser Vorstudie gestaltete sich folgendermaßen, dass nach Aufklärung über die Durchführung und das Ziel der Untersuchung sowie nach Unterschreiben einer Einwilligungserklärung durch den jeweiligen Vormund des Kindes in einem ersten Durchlauf (Übung I) die vier Bedingungen des Paradigmas (True Realität, False Realität, True Belief und False Belief) erst einmal zusammen mit dem Kind angeschaut und besprochen wurden. Sobald das Kind die Bedingungen verinnerlicht hatte und selbst erklären konnte, was es auf den Bildern sah, wurden drei Übungseinheiten in jeweils gesteigerter Geschwindigkeit angeschlossen, bei denen das Kind schon selbst per Tastendruck die Antwort geben durfte. Bei Übung II wurden die Bilder sechs Sekunden, bei Übung III nur noch vier Sekunden, und bei Übung IV dann schließlich nur noch zwei Sekunden präsentiert, um die Kinder langsam an die Präsentationsgeschwindigkeit in der Experimentalbedingung heranzuführen, in der die Bilder ebenfalls jeweils zwei Sekunden lang gezeigt wurden. Dabei konnte die Dauer der einzelnen Durchläufe variabel gestaltet werden, je nachdem, wie schnell das Kind mit der Aufgabenstellung und der Geschwindigkeit zurechtkam. Im Anschluss daran wurde eine kurze Pause gemacht, in der nach den Wünschen des Kindes ein Gesellschaftsspiel oder mit Luftballons gespielt wurde, um dem Kind die Möglichkeit zu geben, das Gesehene zu verarbeiten und sich für die darauffolgende Experimentalbedingung zu sammeln. Diese Bedingung entsprach in der Dauer und der Anzahl der Trials genau der Aufgabenstellung, wie sie dann auch bei der funktionellen Messung bearbeitet werden sollte.

Für seine Mithilfe bekam jedes teilnehmende Kind einen Gutschein über zehn Euro, einzulösen bei Drogeriemarkt Müller oder Cinemaxx.

### 2.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Obwohl sich die Kinder für die durchschnittliche Gesamtdauer des Tests von 50.38 Minuten relativ lange konzentrieren mussten und die eigentliche Experimentalbedingung erst am Schluss des Termins bearbeitet wurde, führten sie diese trotzdem alle ohne größere Probleme vollständig durch. Nur bei einigen ließ sich am Ende eine leichte Unruhe bemerken, die jedoch nicht zum Abbruch der Aufgabe führte.

Die Kinder beantworteten im Durchschnitt 46.00 (SD = 7.82) der 60 Trials richtig, wobei sich die durchschnittliche Fehlerzahl auf 11.25 (SD = 7.82) belief und der Mittelwert der Auslassungen bei 2.75 (SD = 1.39) lag. Bei Durchsicht der Fehler ließ sich aber feststellen, dass diese Fehler zufällig auf die vier verschiedenen Bedingungen des Paradigmas verteilt waren. Daraus wurde geschlossen, dass es keine spezifischen Probleme mit einer einzelnen Bedingung gab und das Paradigma somit auch für die funktionelle Messung in dieser Altersgruppe gut verwendet werden konnte.

Die Ergebnisse zeigten jedoch auch, dass die niedrige Anzahl an richtigen Antworten nur von den vergleichsweise jüngeren Kindern herrührte und nicht alle Kinder eine so hohe Anzahl an Fehlern machten. So schafften die drei Kinder im Alter von 8.75 Jahren die Aufgabe mit 54 bzw. 57 richtigen Antworten, während die jüngeren Kinder bei weitem schlechter abschnitten. Diese Tatsache lässt vermuten, dass es im Alter von ungefähr acht Jahren einen wichtigen Entwicklungsschritt zu geben scheint, der den Kindern die Bearbeitung gerade dieses Paradigmas stark erleichtert.

Aus diesem Grund wurde für die vorliegende Studie entschieden, erst Kinder ab dem Alter von acht Jahren und sechs Monaten in die Versuchsgruppe aufzunehmen, um möglichst sicher sein zu können, dass die Probanden den gleichen Entwicklungsstand aufwiesen und damit auch einheitlichere Ergebnisse erzielt werden konnten. Die Homogenität der Gruppe wurde darüber hinaus noch durch die Verwendung eines Intelligenztests und eines Pubertätsfragebogens überprüft.

## 2.2 fMRT-Hauptstudie

### 2.2.1 Stichprobe

An dieser Studie nahmen insgesamt 17 Versuchspersonen teil. Leider mussten sechs der Kinder aus der Versuchsgruppe ausgeschlossen werden, weil entweder die Anzahl ihrer richtigen Antworten nicht signifikant über der Zufallswahrscheinlichkeit lag oder sie



sich während der fMRT-Untersuchung zu stark bewegten. Somit verblieben elf Probanden für die endgültige Auswertung.

Die acht Mädchen und drei Jungen waren zum Zeitpunkt der Erhebung im Mittel 9.41 Jahre alt ( $SD = .50$ ), wobei sich die Altersspanne von 8.42 bis 10.17 Jahren erstreckte. Alle Probanden besuchten zu diesem Zeitpunkt die dritte (sechs Kinder) oder vierte Grundschulklasse (fünf Kinder). Neun Versuchspersonen waren Rechtshänder, ein Kind Linkshänder und eines ambidext. Mittels des sprachfreien Intelligenztests CFT 20 (Weiss, 1989) wurde die Grundintelligenz der teilnehmenden Kinder ermittelt. Der Intelligenzquotient der Probanden lag zwischen 91 und 129, im Mittel bei 112.45 ( $SD = 13.07$ ). Außerdem erfolgte eine Schätzung des Pubertätsstatus der Kinder durch eine deutsche Adaptation (Watzlawick, 2009) des Fragebogens Pubertal Development Scale (PDS), dessen Skala fünf verschiedene Entwicklungsstufen bei Kindern und Jugendlichen erfasst. Die teilnehmenden Kinder erzielten die beiden niedrigsten Punktwerte von drei bzw. vier Punkten, was die Klassifizierung als vor- bzw. frühpubertär erlaubte, wobei acht Kinder als vor- und drei Kinder als frühpubertär eingestuft werden konnten, bei einem Mittelwert von 3.27 Punkten ( $SD = .47$ ). Ausschlusskriterien für die Teilnahme an diesem Experiment waren neurologische und psychiatrische Erkrankungen und metallische Implantate vor allem im Kopfbereich der Probanden, wie z.B. feste Zahnschienen.

Die Probanden wurden über die Verteilung von Elternbriefen mit Rückmeldeabschnitten, in denen die Studie kurz beschrieben wurde, an vier Regensburger Grundschulen nach Information der jeweiligen Rektoren und deren schriftlichem Einverständnis rekrutiert (siehe Anhang A1-A2). Danach wurde telefonisch mit den Eltern der interessierten Kinder Kontakt aufgenommen, die Studie noch einmal kurz besprochen, bereits im Voraus die Ausschlusskriterien mündlich erfragt und ein Termin für ein erstes Treffen ausgemacht. Bei diesem Termin unterzeichneten alle Kinder selbst und jeweils ein Elternteil oder Vormund die Einverständniserklärung entsprechend den Richtlinien der Ethikkommission (siehe Anhang B1-B3). Der Antrag zur Beurteilung ethischer und rechtlicher Fragen am Menschen für dieses Experiment wurde von der Ethikkommission der Universität Regensburg genehmigt. Den Probanden und ihren Eltern bzw. ihrem Vormund wurde bezüglich ihrer Angaben die Einhaltung der gesetzlichen Datenschutzbestimmungen versichert.

Die Versuchspersonen nahmen freiwillig an der Studie teil. Als Entlohnung bekam jede Versuchsperson die Ergebnisse ihres Intelligenztests, eine Teilnahmeurkunde und einen Ausdruck eines Schnittbildes von ihrem Gehirn zugeschickt sowie direkt nach jedem der beiden Einzeltermine einen Gutschein über 15 Euro, einzulösen bei Drogeriemarkt Müller oder Cinemaxx.

## 2.2.2 Material

### Stimuli

Als Stimuli verwendeten wir für unsere Studie Bildergeschichten im Sinne des bereits vorgestellten Sally-Anne-Paradigmas nach Baron-Cohen et al. (1985). Dabei handelte

es sich um Bildergeschichten mit jeweils 2 Protagonisten, in denen ein Protagonist ein Objekt an einer neuen Stelle versteckte, entweder in Anwesenheit (Witnessed Transfer) oder in Abwesenheit des zweiten Protagonisten (Unexpected Transfer). Die Versuchspersonen sollten dann zu der jeweiligen Geschichte entweder eine Verhaltensvorhersage treffen, wo der zweite Protagonist seines wahren oder falschen Beliefs entsprechend nach dem Objekt suchen wird, oder die Frage nach der wahren Lokalisation des Objektes beantworten. Entsprechend gab es insgesamt vier Bedingungen: zwei Belief-Bedingungen (True Belief und False Belief) und genauso zwei Realitätsbedingungen (True Realität und False Realität), die den Belief-Bedingungen in der Gestaltung bis auf die Frage im letzten Bild gleich waren, um eine gute und sehr enge Kontrolle zu ermöglichen.

Jede Bildergeschichte bestand aus drei Bildern sowie einem Antwortbild. Auf den drei Bildern waren immer zwei Kinder und zwei Behälter zu sehen, sowie immer ein Objekt, das versteckt wird. Dabei wurden in den verschiedenen Bildergeschichten Kinder mit unterschiedlichem Geschlecht, verschiedene Behälter und unterschiedliche Objekte dargestellt. Außerdem war auf den Bildern immer noch ein zweiter Raum zu erkennen, der von dem ersten Raum durch eine Wand mit einer offenen oder geschlossenen Tür getrennt wurde. Daher war es möglich, dass ein Protagonist den ersten Raum verlassen konnte, obwohl er trotzdem für den Probanden noch sichtbar war. Auf diese Weise ließen sich fMRT-Artefakte durch die Veränderung der Anzahl an Figuren verhindern.

Auf den Bildern zur False Belief-Bedingung (siehe Abb. 2.1) sind z.B. ein Junge und ein Mädchen, z.B. Anna und Tom, sowie zwei Behälter, in diesem Fall eine Truhe und ein Sack, zu erkennen. Anna versteckt den Luftballon zuerst im Sack (Bild 1). Tom nimmt den Luftballon jedoch wieder aus dem Sack und deponiert ihn in der Truhe (Bild 2), wobei Anna jedoch den Raum verlassen hat und wegen der geschlossenen Tür nicht sehen kann, was Tom tut (False Belief). Im Anschluss erscheint Anna wieder im Raum und an die Versuchsperson wird die Frage „wo sucht...?“ gestellt (Bild 3), die Versuchsperson soll also das Behälter angeben, wo Anna nach dem Luftballon suchen wird. Die Antwort soll dann mittels Tastendruck gegeben werden, sobald das Bild erscheint, auf dem die beiden Behälter noch einmal gesondert abgebildet sind (Bild 4). In diesem Fall sucht Anna im Sack, weil sie nicht gesehen hat, dass Tom den Luftballon stattdessen in der Truhe versteckt hat.



Bild 1:



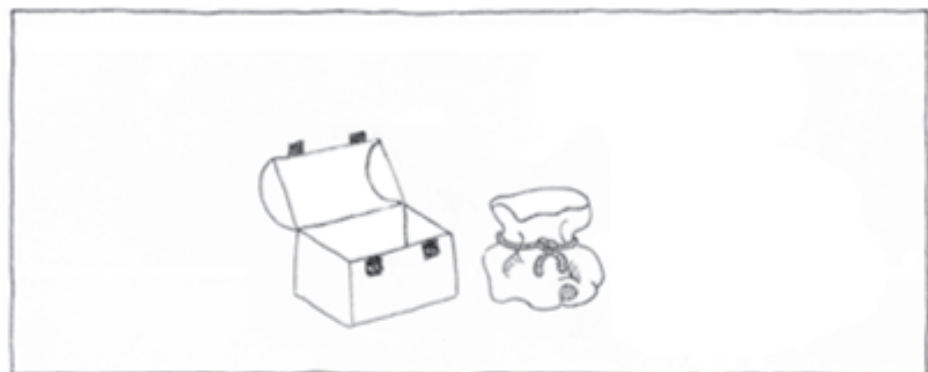
Bild 2:



Bild 3  
(Fragebild):



Bild 4  
(Antwortbild):



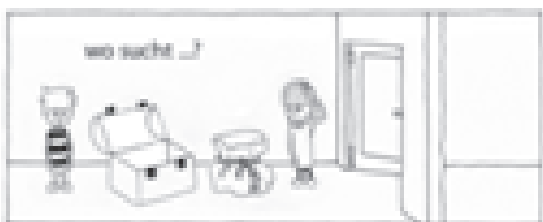
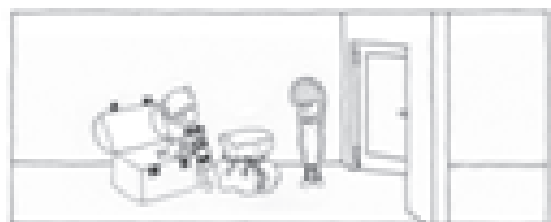
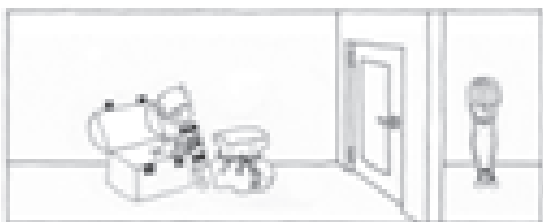
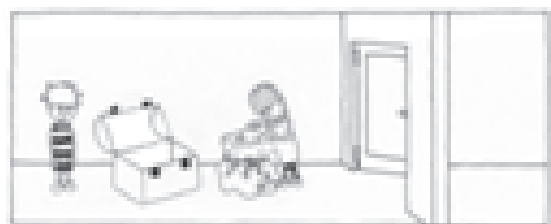
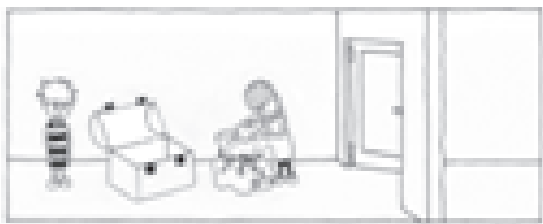
**Abb. 2.1:** False Belief-Bedingung.

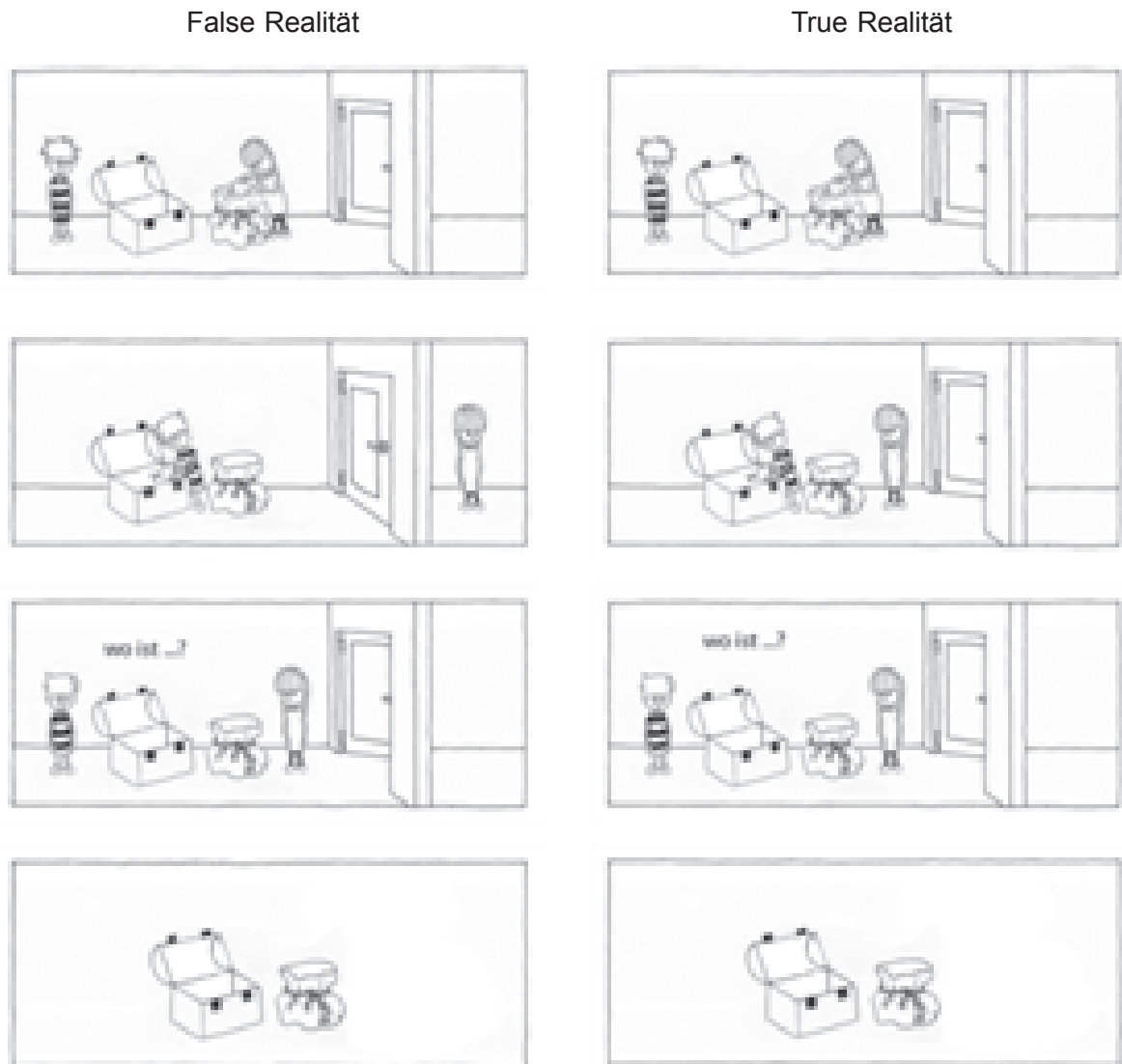
Die Kontrollbedingung False Realität unterschied sich zu dieser False Belief-Bedingung allein in der Fragestellung. Im dritten Bild wurde bei der False Realität-Bedingung die Frage „wo ist...?“ gestellt, also die Frage nach der wahren Lokalisation des Luftballons, in diesem Fall der Truhe.

Im Gegensatz zu den beiden Bedingungen False Belief und False Realität konnte Anna bei den Bedingungen True Belief und True Realität jeweils beobachten, dass Tom den Luftballon aus dem Sack nahm und in der Truhe versteckte. Bei der True Belief-Bedingung ist die richtige Antwort auf die Frage „wo sucht...?“ daher die Truhe, weil Anna mit im Raum war, als Tom den Luftballon dort versteckte. Und auch auf die Frage „wo ist...?“ bei der True Realität-Bedingung ist die korrekte Antwort die Truhe.

False Belief

True Belief





**Abb. 2.2:** Gegenüberstellung der vier Bedingungen des Paradigmas (die beiden Belief-Bedingungen False Belief und True Belief sowie die beiden Kontrollbedingungen False Realität und True Realität).

Folglich lässt sich bei diesen Bildergeschichten nur mit Erscheinen des dritten Bildes festlegen, welche Bedingung vorliegt, da bis auf die Fragestellung der Aufbau der Stimuli identisch ist. Somit wurde auch erst beim dritten Bild die Belief-Attribution angeregt, sofern diese nötig war, daher wurde auch erst bei Präsentation dieses Bildes die fMRT-Auswertung durchgeführt.

Die Bilder wurden den Probanden in schwarz-weiß und auf weißem Hintergrund präsentiert. Die Präsentationsdauer der Bilder 1 - 2 betrug jeweils 2 Sekunden (s). Darauf folgte ein Jitterbild mit einer Zufallsdauer zwischen 2 und 4 s (im Mittel 3 s) zur Vermeidung von Habituationsprozessen. Das Fragebild (Bild 3) wurde dann 3 s, das Antwortbild (Bild 4) 2 s lang präsentiert. Im Anschluss folgte wieder ein Jitterbild mit einem Zufallsintervall zwischen 3 und 5 s (im Mittel 4 s). Somit betrug die durchschnittliche Dauer eines Trials 16 s.

Das vollständige Experiment bestand aus insgesamt 60 Trials, wobei jeweils 15 Trials pro Bedingung präsentiert wurden. Über eine Gesamtdauer von 16 Minuten wurden die Bedingungen in einer pseudorandomisierten Abfolge dargeboten. Dabei war die Hälfte der Trials horizontal gespiegelt und die Position des Targetobjektes im Antwortbild war über die Trials ausgeglichen.

### Datenaufzeichnung

Zur Präsentation der Stimuli und Erhebung der Verhaltensdaten (Trefferraten) der Probanden wurde die Software *Presentation* (Neurobehavioral Systems Inc., Albany, CA) verwendet. Die Bildergeschichten wurden über einen Rechner und einen Videobeamer der Firma NEC (Modell MT 1030+), der sich außerhalb des MRT-Raumes befand, auf die hinter dem Kopf der Versuchspersonen befindliche Leinwand projiziert und konnten von den Versuchspersonen über einen an der Kopfspule befestigten Spiegel verfolgt werden. Die zeitliche Koordination der Scannerimpulse mit den Stimuli erfolgte über eine Triggerbox, an die die Pulse des Scanners gesendet wurden.

Die Reaktionen der Probanden auf das Antwortbild wurden über zwei Tasten einer fMRT-kompatiblen, mit fünf Tasten versehenen Reaktionsbox der Firma LUMItouch (Photon Control Inc., Burnaby, Canada) erfasst. Zusätzlich wurde ein Laptop der Firma Toshiba verwendet, auf dem ebenfalls die Software *Presentation* installiert war. Dieser diente sowohl im Rahmen der behavioralen Vorstudie als auch beim ersten Termin der fMRT-Studie zum Erklären und Einüben der Aufgabe, während er beim zweiten Termin der fMRT-Studie zur erneuten kurzen Übung der Aufgabe vor Beginn der funktionellen Datenerhebung verwendet wurde.

### 2.2.3 Durchführung der Studie

Um abzuklären, dass die Kinder, die sich für die Untersuchung gemeldet hatten, auch den Anforderungen unserer fMRT-Untersuchung gewachsen waren, entschieden wir uns für eine Aufteilung der Testungen in zwei Testsessions.

Sobald ein Kind Interesse für die Thematik zeigte, wurde es für einen ersten Termin zum Bezirksklinikum Regensburg bestellt. Dort wurde nach Unterschreiben der Einwilligungserklärung durch das Kind selbst sowie einen Erziehungsberechtigten das MR-Gerät gezeigt und erklärt, wobei sich die Kinder auch schon in das Gerät legen durften und sich anhören konnten, welche Geräusche bei einer funktionellen Messung auftreten. Im Anschluss daran wurde, wie bei der behavioralen Vorstudie schon beschrieben, das Paradigma am Computer eingeübt und dann die vollständige Experimentalbedingung probeweise durchgeführt, um klarzustellen, dass das Kind die Aufgabe in gewünschter Form beherrscht. Um den Entwicklungsstand des Kindes näher zu bestimmen, war der nächste Schritt die Beantwortung eines Pubertätsfragebogens (Pubertal Development Scale). Damit konnten wir eingrenzen, ob das Kind noch auf einer prä- oder frühpubertären Entwicklungsstufe steht und ob also die mit Beginn der Pubertät verbun-

denen Veränderungen in der Gehirnstruktur möglicherweise bereits eingesetzt haben, was zu Lasten der Vergleichbarkeit der Versuchspersonen ginge. Zum Abschluss wurde dann noch ein Intelligenztest (CFT 20, Test 1, Form A) durchgeführt, damit wir den IQ der Kinder ungefähr einordnen konnten und um damit eine repräsentative Gruppe mit durchschnittlichem IQ zur Verfügung zu haben. Die Dauer dieses ersten Termins belief sich auf ungefähr zwei Stunden. Nach erfolgter Auswertung wurde mit den Kindern dann ein zweiter Termin zur funktionellen Messung vereinbart.

Dieser zweite Termin bestand lediglich aus einer kurzen Übungssequenz, in der die jeweilige Versuchsperson das Paradigma am Laptop noch einmal auffrischen und wiederholen konnte. Je nach Bedarf erfolgte noch einmal eine kurze Erklärung der vier Bedingungen sowie ein Durchlauf der Experimentalbedingung variabler Länge, je nachdem, wie sicher sich das Kind war und wie schnell es mit der erforderlichen Präsentationsgeschwindigkeit umgehen konnte. Im Anschluss daran wurde der funktionelle Scan durchgeführt.

## 2.3 Statistische Analyse

### 2.3.1 Versuchsplan

Die hier vorgestellte Studie wurde nach einem 2 x 2-faktoriellen Design konzipiert. Dabei wurden die beiden Faktoren Reasoning und Transfer manipuliert. Der Faktor Reasoning wurde in den beiden Ausprägungen Belief-Reasoning, im vorliegenden Fall also Nachdenken über die Überzeugung des Protagonisten in den beiden Belief-Bedingungen, und Realitäts-Reasoning, d.h. Beschreibung der Realität in den beiden Realitätsbedingungen, realisiert. Der Faktor Transfer war ebenfalls auf zwei Ebenen realisiert, einmal in der Ausprägung beobachteter Transfer in den beiden True-Bedingungen und einmal als unbeobachteter Transfer in den beiden False-Bedingungen. Daraus ergibt sich die in Tabelle 2.1 dargestellte Design-Matrix, in der die vier verschiedenen Versuchsbedingungen dargestellt sind.

**Tabelle 2.1:** Design-Matrix der Studie zur Darstellung der Manipulation der beiden Faktoren Reasoning und Transfer und der sich daraus ergebenden vier Bedingungen False Belief, True Belief, False Realität und True Realität.

	<b>Belief-Reasoning</b>	<b>Realitäts-Reasoning</b>
<b>Unbeobachteter Transfer</b>	False Belief	False Realität
<b>Beobachteter Transfer</b>	True Belief	True Realität

Als abhängige Variable wurde auf Verhaltensebene die Antwortgenauigkeit in Prozent erhoben, sowie auf neuronaler Ebene BOLD (Blood Oxygen Level Dependent)-Kontrastbilder, die als Operationalisierung für neuronale Aktivität dienen (z.B. Logothetis, Pauls, Augath, Trinath & Oeltermann, 2001).

### 2.3.2 Analyse der Verhaltensdaten

Für die Auswertung der Verhaltensdaten wurde das Statistikprogramm SPSS 17 verwendet. Dazu wurde für jede Bedingung die Anzahl richtiger Antworten in Prozent ermittelt. Mittels t-Tests für gepaarte Stichproben wurde die Anzahl richtiger Antworten zwischen den einzelnen Bedingungen verglichen, um zu prüfen, ob in allen Bedingungen die gleiche Anzahl richtiger Antworten erzielt wurde.

In der vorliegenden Studie wurden die Reaktionszeiten nicht ausgewertet, da die Frage bereits im dritten Bild gestellt wurde, die Antwort aber erst mit Erscheinen des vierten Bildes, in dem die Antwortoptionen noch einmal gezeigt wurden, gegeben werden konnte. Folglich fand der zu untersuchende kognitive Prozess schon während der Präsentation des dritten Bildes statt. Somit beziehen sich die Reaktionszeiten nicht so sehr auf den interessierenden kognitiven Prozess der Belief-Attribution, sondern sie messen eher die Zeit, welche die Versuchsperson zum Entdecken des richtigen Gegenstandes auf dem Bild braucht.

### 2.3.3 Analyse der fMRT-Daten

#### **Datenerhebung**

Die fMRT-Messung wurde an einem 3-Tesla-Scanner (Siemens Allegra, Erlangen, Deutschland) am Bezirksklinikum Regensburg durchgeführt. Die Messung begann mit einem Circle-Localizer, um den Kopf der Versuchsperson optimal positionieren zu können. Danach bearbeiteten die Probanden die Aufgabe. Währenddessen wurde eine funktionelle Messung durchgeführt, in der die BOLD-Signale durch eine T2\*-gewichtete Echo-Planar-Imaging-Sequenz (EPI-Sequenz) erfasst wurden (TR = 2.0 s, TE = 50 ms,  $\alpha = 90^\circ$  bei einer ebenen Matrix von 64 x 64 mm, FoV = 192 mm). Während dieser Messung wurden insgesamt 500 Volumes aufgezeichnet. Die EPI-Sequenz bestand aus 32 Slices mit einer Voxelgröße von 3 mm x 3 mm x 3 mm. Darauf folgte ein hochauflösender Strukturscan in Form einer T1-gewichteten MPRAGE-Sequenz (Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo) (TR = 2.25 s, TE = 2.6 ms, TI = 900 ms, Matrix = 256 mm x 256 mm x 256 mm, 160 axiale Schichten, Voxelgröße = 1 mm x 1 mm x 1 mm). Die Signale wurden mit einer systemkonformen 2-Kanal-Kopfspule aufgefangen. Die Dauer der EPI-Sequenz betrug 16 Minuten, der Strukturscan etwa sechs Minuten. Insgesamt dauerte die fMRT-Messung mit Circle Localizer etwa 25 Minuten.

### **Datenvorverarbeitung**

Die Vorverarbeitung der Daten erfolgte genau wie die fMRT-Analyse mit Hilfe von SPM 5 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>), einer Software für das Programm Matlab 7.0 (The MathWorks Inc., Natick, MA). Zu Beginn der Vorverarbeitung wurden die Messzeitpunkte für die einzelnen Schichten jedes Scans angepasst (Slice Timing), wobei die mittlere Schicht als Referenzmessung verwendet wurde (Henson, Buechel, Josephs & Friston, 1999). Im Anschluss daran wurde eine Bewegungskorrektur durchgeführt, um den Einfluss von Kopfbewegungen zu minimieren (Realignment). Dazu diente das erste der 500 Volumes als Referenzvolume. Im nächsten Schritt wurden die funktionellen Scans mit den anatomischen verglichen (Coregister). Dafür wurde das im vorhergehenden Schritt ermittelte Mean Image der funktionellen Daten über das strukturelle Bild gelegt und damit die Parameter für die räumlichen Verhältnisse zwischen funktionellen und strukturellen Daten geschätzt. Danach erfolgte die Normalisierung, d.h. die Aufnahmen wurden an ein Standardgehirn, das Referenzgehirn des Montreal Neurological Institute (Collins, Neelin, Peters & Evans, 1994) angepasst. Zuletzt wurde eine Glättung (Smoothing) durchgeführt, wobei ein Full-Width-Half-Maximum (FWHM)-Gaußscher Filter von 8 mm verwendet wurde. Dies diente der Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses.

### **Statistische Analyse der fMRT-Daten**

Nach der Vorverarbeitung fand eine First-Level-Analyse für jede einzelne Versuchsperson statt, die ebenfalls mit SPM 5 erfolgte. Dazu wurden Fixed-Effects-Analysen durchgeführt, denen das Allgemeine Lineare Modell zu Grunde lag. Dem Modell wurde eine Box-Car-Waveform unter Berücksichtigung der räumlichen und zeitlichen Verschiebungen zu Grunde gelegt. In die Analyse wurden nur die Trials einbezogen, in denen die Versuchsperson richtig antwortete. Der interessierende Regressor bestand im dritten Bild. Ein Regressor of no Interest, der aus den Trials mit Auslassungen und Fehlern sowie den Messungen zu Bild eins, zwei und vier bestand, ging ebenfalls in das Modell mit ein. Zusätzlich wurden die sechs Realignmentparameter der Bewegungskorrektur mit eingerechnet. Zur zeitlichen Filterung wurde ein High-pass-Filter mit einem Cut-off bei 128 Sekunden verwendet. Für jeden einzelnen Probanden wurden folgende t-Kontraste berechnet: FB > FR, TB > TR und FB > TB.

Anschließend wurden für die gesamte Gruppe die interessierenden Kontraste unter Verwendung der Kontrastbilder der First-Level-Analyse in einer Second-Level-Random-Effects-Analyse berechnet. Es wurden t-Tests für gepaarte Stichproben durchgeführt, um SPM-Maps mit den signifikanten Aktivierungen zu erhalten. Für diese SPM-Maps galt ein T-Wert von  $T = 4.14$  ( $p = .001$  unkorrigiert). Die Ergebnisse werden auf einem unkorrigierten Clusterlevel von  $p\text{-Wert} < .05$  angegeben.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Verhaltensdaten

In der vorliegenden Studie wurde auf Verhaltensebene nur die Bearbeitungsgenauigkeit und nicht die Reaktionszeiten ausgewertet (siehe Kap. 2.3.2). In Tabelle 3.1 sind die Hitraten der vier Bedingungen in Prozent aufgeführt.

**Tabelle 3.1:** Anzahl richtiger Antworten in den vier Versuchsbedingungen (FB = False Belief, FR = False Realität, TB = True Belief, TR = True Realität) sowie Gesamthtrate (Gesamt), angegeben sind Mittelwert und Standardabweichung.

FB	FR	TB	TR	Gesamt
.93 (+/- .05)	.94 (+/- .06)	.95 (+/- .07)	.98 (+/- .04)	.95 (+/- .05)

Beim Vergleich der Hitraten in den vier Bedingungen mittels t-Tests für gepaarte Stichproben ergab sich, wie in Tabelle 3.2 dargestellt, kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Bedingungen

**Tabelle 3.2:** Ergebnisse des Vergleichs der vier Versuchsbedingungen (FB = False Belief, FR = False Realität, TB = True Belief, TR = True Realität) durch t-Tests für gepaarte Stichproben.

	t-Wert	p-Wert
FB vs. FR	-.43	.68
FB vs. TB	-1.00	.34
TB vs. TR	-1.84	.10

#### 3.2 fMRT-Gruppenanalyse

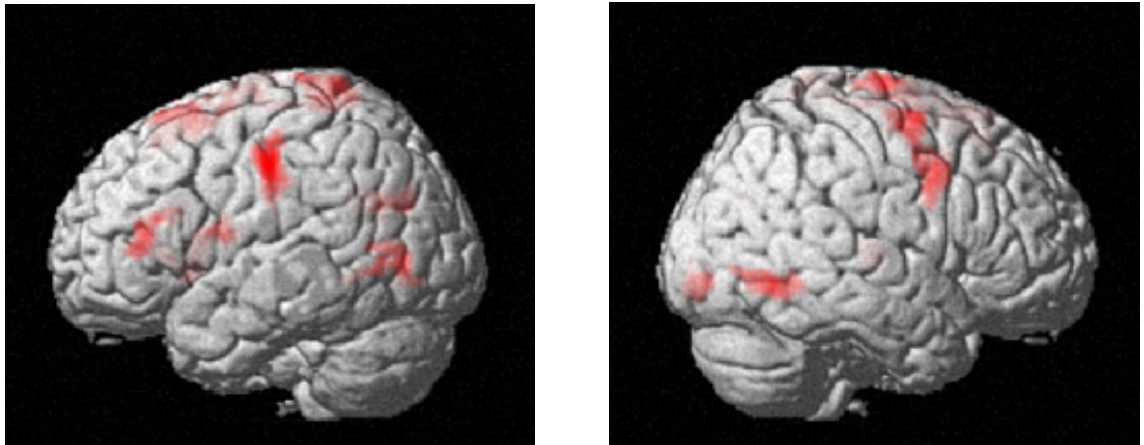
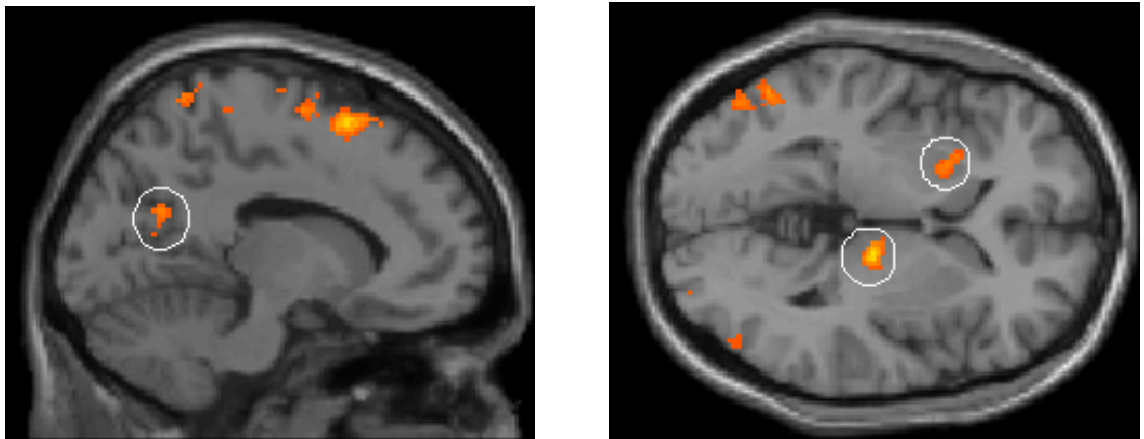
##### 3.2.1 Kontrast False Belief versus False Realität (FB > FR)

Beim Kontrast der False Belief-Bedingung zur entsprechenden engen Kontrollbedingung False Realität ergaben sich bei False Belief im Vergleich zu False Realität stärkere Aktivierungen bevorzugt in frontalen und postzentralen Arealen sowie im Precuneus und in temporalen Arealen des Kortex. Zusätzlich zeigten sich auch in einigen subkortikalen Strukturen Mehraktivierungen bei der False Belief-Bedingung. Diese Areale sind in der nachfolgenden Tabelle 3.3 detailliert aufgeführt und in Abbildung 3.1 am dreidimensional dargestellten Gehirn und in Abbildung 3.2 in Schnittbildern eingezeichnet.



**Tabelle 3.3:** Areale mit stärkerer Aktivierung beim Kontrast FB > FR.

Areal	Brodmann-Areal	MNI-Koordinaten			Z-Wert	Clustergröße
		x	y	z		
Inferiorer frontaler Gyrus (links)	46	-48	32	12	5.07	239
Medialer frontaler Gyrus (rechts)	6	60	48	42	5.00	387
Thalamus (rechts)		14	-20	4	4.84	256
Somatosensorischer Kortex (links)	2	-62	-20	50	4.76	482
Postzentraler Gyrus (links)	5	-18	-42	68	4.55	1142
Precuneus (links)	31	-8	-64	24	4.29	250
Medialer temporaler Gyrus (rechts)	37	56	-58	8	4.02	276
Putamen (links)		-20	12	4	3.89	198
Medialer temporaler Gyrus (links)	37	-54	-62	0	3.68	203

**Abb. 3.1:** Mehraktivierungen beim Kontrast FB > FR in der Aufsicht auf das dreidimensional dargestellte Gehirn (links die Areale BA 46, BA 2, BA 5 und BA 37 sowie rechts die Areale BA 37 und BA 6).**Abb. 3.2:** Mehraktivierungen beim Kontrast FB > FR in Schnittbildern (in der linken Abbildung der linke Precuneus, in der rechten Abbildung der rechte Thalamus und das linke Putamen).

### 3.2.2 Kontrast True Belief versus True Realität (TB > TR)

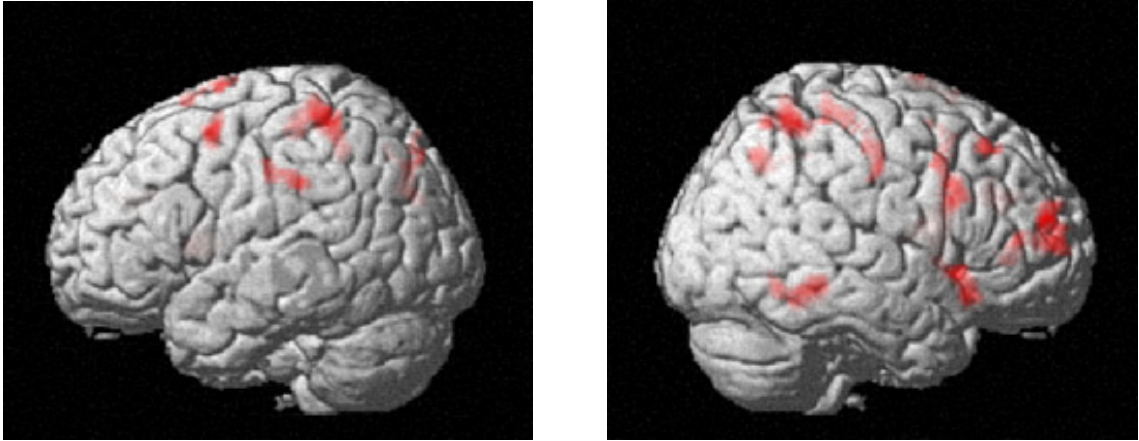
Beim Kontrast der beiden True-Bedingungen zeigten die Versuchspersonen in der True-Belief-Bedingung keine Mehraktivierungen im Vergleich zur Bedingung True Realität.

### 3.2.3 Kontrast False Belief versus True Belief (FB > TB)

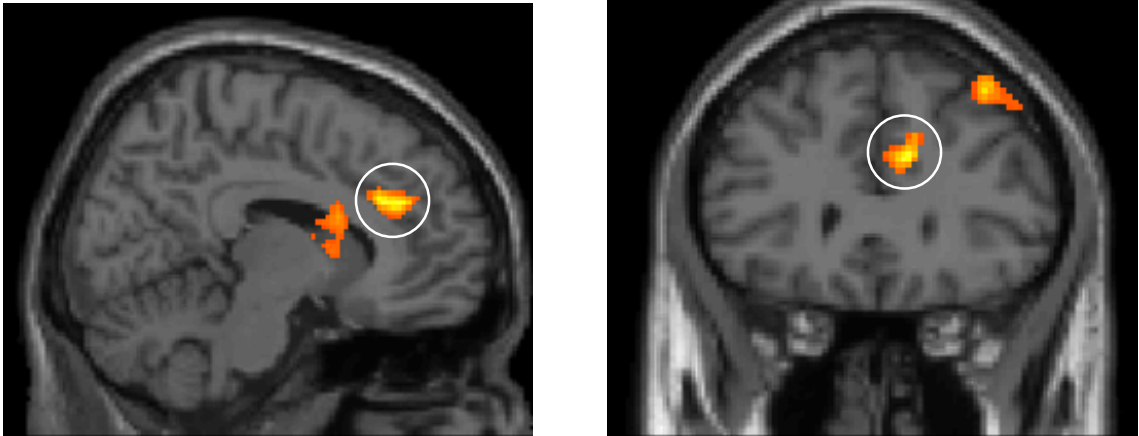
Als Ergebnisse des Kontrastes der beiden Belief-Bedingungen False Belief versus True Belief ließen sich bei False Belief im Vergleich zu True Belief im rechten mPFC sowie im bilateralen inferioren Parietallappen (IPL) als Areale des bekannten ToM-Netzwerks stärkere Aktivierungen nachweisen. Weitere Mehraktivierungen ergaben sich in frontalen, temporalen sowie postzentralen kortikalen Arealen, genauso wie im subkortikalen Nucleus caudatus. In der folgenden Tabelle 3.4 sind diese Areale detailliert aufgelistet und in den beiden Abbildungen 3.3 und 3.4 dargestellt.

**Tabelle 3.4:** Areale mit stärkerer Aktivierung beim Kontrast FB > TB.

Areal	Brodmann-Areal	MNI-Koordinaten			Z-Wert	Clustergröße
		x	y	z		
Medialer frontaler Gyrus (links)	10	44	52	18	5.11	355
mPFC/Gyrus cinguli (rechts)	32	10	30	26	4.54	185
Inferiorer temporaler Gyrus (rechts)	20	62	-46	-14	4.24	195
Nucleus caudatus (rechts)		16	10	14	4.18	362
Inferiorer Parietallappen (links)	40	-48	-42	64	4.17	311
Inferiorer frontaler Gyrus (rechts)	47	48	22	-12	4.13	203
Nucleus caudatus (links)		-8	6	6	4.04	209
Inferiorer Parietallappen (rechts)	40	-46	-52	62	3.94	244
Medialer temporaler Gyrus (rechts)	8	58	10	42	3.92	205
Somatosensorischer Kortex (rechts)	2	56	-28	60	3.83	182



**Abb. 3.3:** Mehraktivierungen beim Kontrast FB > TB in der Aufsicht auf das dreidimensional dargestellte Gehirn (links das Areal BA 40 sowie rechts die Areale BA 20, BA 40, BA 2, BA 47, BA 8 und BA 10).



**Abb. 3.4:** Mehraktivierung des mPFC beim Kontrast FB > TB in Schnittbildern (links in einer sagittalen, rechts in einer frontalen Schnittebene).

## 4. Diskussion

### 4.1 Allgemeine Interpretation der Ergebnisse

Insgesamt ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu bemerken, dass Kinder bei der Bearbeitung des Paradigmas sehr viele verschiedene und über das ganze Gehirn verteilte Areale aktivieren. Dabei handelt es sich, gerade beim Kontrast  $FB > TB$ , durchaus um einige der in der bisherigen Literatur relativ konsistent beschriebenen Regionen wie z.B. den mPFC (BA 32) oder den IPL (BA 40). Auch kann man bei dem genannten Kontrast feststellen, dass die Versuchspersonen relativ viele frontale Areale aktivierten. Diese Ergebnisse befinden sich im Einklang mit unseren Vermutungen, dass das ToM-Netzwerk von Kindern und Erwachsenen grundlegend gleich ist, Kinder jedoch für die Durchführung der Belief-Attribution zusätzliche, und besonders frontale, Areale zu Hilfe nehmen müssen.

Die beiden anderen Vergleiche, also die Kontraste  $FB > FR$  und  $TB > TR$ , die jeweils die Belief-Bedingung einer nahezu identischen nichtmentalen Kontrollbedingung gegenüberstellten, lieferten dagegen etwas unerwartete und unklare Ergebnisse. Diese Tatsache erscheint aber wenig verwunderlich, wenn man bedenkt, dass bisher kaum Kinder einer so engen Alters- und Entwicklungsspanne getestet wurden und ein Paradigma bearbeiteten, dessen Untersuchungs- und Kontrollbedingungen sich so sehr glichen. Eine genauere Interpretation der Ergebnisse bezüglich der Funktion der aktivierten Areale bei diesen Kontrasten bzw. ein deskriptiver Vergleich der im jeweiligen Kontrast aktivierten Areale bei Kindern und Erwachsenen erfolgt in den folgenden Kapiteln 4.2 und 4.4.

Auch wenn Kinder verschiedene und verteilte Gehirnareale bei der Bearbeitung der Aufgaben zur Belief-Attribution aktivieren, sind sie letztendlich bezüglich der Richtigkeit ihrer Antworten praktisch genauso erfolgreich wie Erwachsene. Die vergleichbaren Fehlerraten bei gleichzeitigen ausgeprägten Aktivierungsmustern lassen vermuten, dass sich Kinder für diese Aufgabe sehr anstrengen müssen, um sie genauso gut lösen zu können wie Erwachsene, und dass Kinder möglicherweise mehrere unterschiedliche Strategien zur Beantwortung der Fragen verwenden, weil sie im Umgang mit der Theory of Mind bzw. mit Beliefs noch nicht so geübt sind wie Erwachsene.

Es könnte allerdings auch sein, dass Kinder in ihrer Herangehensweise an solche Aufgaben zur Belief-Attribution noch flexibler sind und deshalb diese Aufgaben nicht immer nach dem gleichen Schema lösen, wie es Erwachsene tun. Im Hinblick auf die Befunde aus den Studien zur strukturellen Gehirnentwicklung (siehe Kap. 1.5.1) könnte man vermuten, dass während der Kindheit noch mehrere verschiedene Verschaltungen im Gehirn existieren, die alle benutzt werden können, um am Ende eine bestimmte Aufgabe zu lösen. Mit der weiteren Entwicklung auf Strukturebene, aber auch der Entwicklung von Lernprozessen und Erfahrungen, scheint es durchaus möglich, dass sich eine Präferenz für eine bestimmte Denkstrategie zum Umgang mit Beliefs herausbildet und

mit dem strukturellen Umbau des Gehirns in der Adoleszenz die zusätzlichen, aber weniger genutzten Verschaltungen als „überflüssig“ eliminiert werden. Dies könnte erklären, warum die Befunde aus den bisherigen funktionellen Studien bei Erwachsenen konsistenter sind als bei Kindern.

## **4.2 Interpretation der Funktion einzelner Gehirnnareale bezogen auf die Hypothesen und Fragestellungen der vorliegenden Studie**

### **4.2.1 Medialer präfrontaler Kortex (mPFC)**

Im Rahmen unserer Hypothesen und Fragestellungen (siehe Kap. 1.6) der vorliegenden Studie vermuteten wir, dass der mPFC als Decoupling-Areal (z.B. Sommer et al., 2007) beim Vergleich der beiden Belief-Bedingungen  $FB > TB$  verstärkte Aktivierungen zeigen sollte, und ebenso beim Kontrast  $FB > FR$ . Beim Kontrast  $TB > TR$  ist kein Decoupling nötig, da Belief und Realität in diesem Fall übereinstimmen, somit würde man für diesen Kontrast auch keine Mehraktivierung des mPFC erwarten.

Tatsächlich ergab sich auch bei Kindern eine Aktivierung des mPFC (BA 32) beim Kontrast  $FB > TB$  und nicht beim Kontrast  $TB > TR$ , was den Vermutungen entsprach. Doch beim Kontrast  $FB > FR$ , bei dem sich Belief und Realität ebenfalls unterscheiden, zeigte sich bei Kindern keine verstärkte Aktivität des mPFC. Allerdings erschien eine Mehraktivierung bei  $FB > FR$  auch deshalb fraglich, weil auch die erwachsenen Probanden bei der Bearbeitung derselben Aufgabe (Schuwerk, 2010) den mPFC nicht stärker aktivierten. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis wäre, dass sich die beiden Bedingungen  $FB$  und  $FR$  sehr ähnlich sind und sich nur durch die Fragestellung unterscheiden. Vielleicht gab dies für die Versuchspersonen den Anlass, bei den False-Bedingungen erst einmal beide Möglichkeiten zu durchdenken und ein Decoupling durchzuführen, bevor sie sich entsprechend der Fragestellung für die richtige Antwort im Sinne des Beliefs des Kindes in der Bildergeschichte oder im Sinne der Realität entschieden.

Außerdem wurde in mehreren Untersuchungen festgestellt, dass der mPFC als großes Gehirnnareal in sich funktionell aufgeteilt ist und unterschiedliche Unterbereiche des mPFC je nach spezieller Anforderung, vielleicht auch in Abhängigkeit vom Alter, aktiviert werden. So zeigte eine Studie von Moriguchi, Onishi, Mori, Matsuda und Komaki (2007), dass es eine Korrelation zwischen dem Alter der Probanden und dem Grad der Aktivität des mPFC in eher ventralen oder eher dorsalen Bereichen zu geben scheint. Während die Stärke der Aktivierung im eher ventralen Bereich des mPFC mit steigendem Alter der Versuchspersonen abnahm, zeigte sich eine Zunahme der Aktivität im eher dorsalen Bereich des mPFC mit höherem Alter. Aus diesen Ergebnissen folgern die Autoren, dass ein alters- oder reifebedingter Shift von eher ventralen zu eher dorsalen Arealen innerhalb des mPFC stattfindet.

Andere Untersuchungen postulieren eine Aufteilung des mPFC weniger in Zusammenhang mit dem Alter der Probanden, sondern in Bezug auf die funktionellen Anforderungen. Steele und Lawrie (2004) sprechen von einer Unterteilung in kognitive und emotionale Funktionen. So sei der ventrale mPFC aktiver, wenn die Verarbeitung von Stimuli in einem eher emotionalen Kontext erforderlich ist, während der dorsale mPFC eher bei primär kognitiven Anforderungen verstärkte Aktivität zeigt. Die Ergebnisse mehrerer Studien untermauern diese Meinung. In einigen Studien zeigte sich bei Mentalizing-Aufgaben mit eher sozial-kognitiven Anforderungen der dorsale mPFC aktiver (z.B. Goel, Grafman, Sadato & Hallett, 1995; Gallagher, Jack, Roepstorff & Frith, 2002; Mitchell, Heatherton & Macrae, 2002; Mitchell, Macrae & Banaji, 2004). Andere Untersuchungen zur Theory of Mind, in denen eher eine Selbstreflexion bei der Bearbeitung der Aufgaben erforderlich war, ergaben stärkere Aktivierungen von ventralen Bereichen des mPFC (z.B. Gusnard, Akbudak, Shulman & Raichle, 2001; Johnson et al., 2002; Kelley et al., 2002; Macrae, Moran, Heatherton, Banfield & Kelley, 2004; Schmitz, Kawahara-Baccus & Johnson, 2004; Vogeley et al., 2004; Zysset, Huber, Ferstl & von Cramon, 2002). Dieses Ergebnis wird von Mitchell, Banaji und Macrae (2005) so interpretiert, dass der ventrale mPFC aktiver ist bei der sozialen Beurteilung von Personen, die uns selbst ähnlich sind, während der dorsale mPFC dann aktiviert wird, wenn Probanden Personen aus z.B. anderen, ihnen fremden Kulturkreisen beurteilen sollten.

Die in der hier vorliegenden Studie beim Kontrast FB > TB gefundene Aktivierung des mPFC befand sich im anterioren Cingulum und folglich in einem eher dorsal gelegenen Bereich des mPFC. Dies würde der Meinung von Moriguchi und Kollegen (2007) widersprechen, da unsere Probanden laut Aussage dieser Studie bezüglich ihres Alters und ihres Entwicklungsstandes bevorzugt ventrale Areale des mPFC aktivieren sollten. Unsere Ergebnisse geben damit möglicherweise eher den Studien Recht, die vermuten, dass die Aufteilung des mPFC in sich weniger in Korrelation mit dem Alter steht, sondern wahrscheinlich mehr mit den funktionellen Anforderungen in Einklang zu bringen sein könnte. Das Stimulusmaterial der hier vorliegenden Studie sollte weniger eine emotionale Verarbeitung erfordern, sondern für die Versuchspersonen eine eher sozial-kognitive Aufgabenstellung darstellen und damit auch, wie die oben genannten Studien (z.B. Goel et al., 1995; Gallagher et al., 2002; Mitchell et al., 2002; 2004) ergaben, die weiter dorsal gelegenen Bereiche des mPFC aktivieren. Zusätzlich könnte man mit den bereits erwähnten Ergebnissen von z.B. Gusnard und Kollegen (2001), Vogeley und Kollegen (2004) und Mitchell und Kollegen (2005) argumentieren, dass bei der Bearbeitung der verwendeten Bildergeschichten auch keine Selbstreflexion bzw. kein Nachdenken über den Probanden ähnliche Personen nötig war, da es sich ja nur um Schwarz-Weiß-Zeichnungen von Kindern handelte. Dies spräche ebenso wieder für eine eher dorsale Aktivierung des mPFC.



#### 4.2.2 Temporo-parietale Junction (TPJ)

Unsere Hypothesen und Fragestellungen bezüglich der TPJ orientierten sich an den teilweise widersprüchlichen Angaben aus der bisherigen Literatur in dem Sinne, dass wir mit unserer Studie herausfinden wollten, welche Bedeutung die TPJ im Kindesalter für die Bearbeitung von Aufgaben zur Theory of Mind besitzt. Die Studienlage zeigt Unklarheiten in der Hinsicht, ob die TPJ überhaupt eine Aufgabe bei der Belief-Attribution von Kindern übernimmt. In der Studie von Kobayashi und Kollegen (2007) war die TPJ in der ToM-Bedingung aktiv, während in der Studie von Sommer und Kollegen (2010) keine verstärkte Aktivierung der TPJ bei Kindern nachgewiesen werden konnte. Des Weiteren schien fraglich, ob sich bei vorhandener TPJ-Aktivität eine Lateralisierung zu einer Seite, vornehmlich nach rechts, bei der Belief-Attribution feststellen lassen würde, wie es bei einigen Untersuchungen in der Vergangenheit der Fall war (z.B. Saxe et al., 2005; Mitchell, 2008; Aichhorn et al., 2009). Im Gegensatz dazu vermuten z.B. Gallagher und Kollegen (2000) und Kobayashi und Kollegen (2007) eine bilaterale Aktivität der TPJ bei der Bearbeitung von ToM-Aufgaben.

In der vorliegenden Studie konnte sowohl beim Kontrast FB > FR als auch beim Kontrast FB > TB keine verstärkte Aktivität der TPJ bzw. des pSTS (BA 39/40/22) gezeigt werden, d.h. Kinder zwischen acht und zehn Jahren griffen bei der Belief-Attribution nicht auf dieses Areal zurück. Mögliche Gründe dafür sind der bereits in der Einleitung erwähnte altersbedingte Shift der Aktivierungen von eher frontalen zu eher parietalen Arealen mit steigendem Alter oder eine Aktivierung der TPJ in der Belief-Bedingung sowie in der nichtmentalenen Kontrollbedingung im Sinne einer Kontrolle der Antwort (für eine ausführliche Darstellung dieser Vermutungen siehe Kap. 4.4.1).

Doch wenn man die Theorie in Betracht zieht, dass parietale Areale erst im Laufe der Adoleszenz bei der Belief-Attribution an Bedeutung gewinnen, dürfte beim Kontrast FB > TB auch der inferiore Parietallappen (BA 40) nicht aktiv sein. Auf die bisher in Studien postulierten Aufgaben des IPL werde ich im folgenden Kapitel (siehe Kap. 4.3.1) noch genauer eingehen, für eine mögliche Erklärung der IPL-Aktivität im Einklang mit der Vermutung eines altersbedingten Shifts siehe Kap. 4.4.3.

#### 4.2.3 Temporalpole

Da nach mehreren Studien die Temporalpole für das Abrufen von sozialen Skripten und die Einbettung des Beliefs in einen breiteren semantischen und emotionalen Kontext zuständig sind (z.B. Gallagher et al., 2003; Kobayashi et al., 2007), schien es auch für diese Studie wahrscheinlich zu sein, dass bei False Beliefs im Vergleich zu den Kontrollbedingungen die Temporalpole aktiv sein würden.

Doch im vorliegenden Fall waren die Temporalpole (BA 38) weder beim Kontrast FB > FR noch beim Kontrast FB > TB aktiv. Als möglichen Grund dafür könnte man annehmen, dass Kinder in ihrem jungen Alter noch weniger Erfahrungen gemacht haben und ihr



autobiografisches Gedächtnis deshalb noch weit weniger ausgeprägt ist als bei Erwachsenen. Daraus kann man möglicherweise folgern, dass Kinder deshalb ihre Entscheidungen bezüglich sozialer Anforderungen, z.B. auch Beliefs, treffen, ohne einen breiteren Kontext mit Hilfe ihrer Erfahrungen herzustellen. Sie verlassen sich beim Urteil über Beliefs vielleicht nicht so sehr auf ihre bisherigen Erlebnisse und erlernte Verhaltensweisen im sozialen Kontext, sondern wägen möglicherweise ihr Urteil noch in Bezug auf die aktuellen Umstände ab. Da ihnen die Erfahrung und Routine der Erwachsenen fehlt, die diese sich wohl über die Temporalpole ins Gedächtnis rufen, benötigen Kinder offensichtlich viel mehr Gehirnareale als Erwachsene, um zum selben richtigen Ergebnis zu kommen, weil sie ihre Entscheidungen intensiver abwägen müssen bzw. andere neuronale Netzwerke dazu mitaktivieren müssen.

#### 4.2.4 Zusätzliche Areale, die auch in den bekannten Studien zur Belief-Attribution bei Kindern aktiviert wurden

Wie im vorherigen Kapitel (siehe Kap. 4.1) bereits erwähnt, aktivierten die Probanden in unserer Studie nicht nur Gehirnareale, die in der bisherigen Literatur zum klassischen Theory of Mind-Netzwerk gezählt werden, sondern auch weitere Regionen, die zum Teil auch in den bekannten Studien zur Belief-Attribution bei Kindern gefunden wurden. Dazu zählen der mediale und inferiore frontale Gyrus, die in der Studie von Kobayashi und Kollegen (2007) ebenfalls erfasst wurden.

In der hier vorliegenden Studie waren beim Kontrast FB > FR der linke inferiore frontale Gyrus (BA 46) und der rechte mittlere frontale Gyrus (BA 6) aktiv, während beim Kontrast FB > TB der rechte inferiore (BA 47) und mittlere frontale Gyrus (BA 8 und 10) stärkere Aktivierungen zeigten.

In der Literatur findet man einerseits Nachweise, dass der inferiore frontale Gyrus, allerdings eher im Bereich von BA 45, eine Sprachregion darstellt, die für syntaktische Prozesse verantwortlich ist (z.B. Friederici, Rüschemeyer, Hahne & Fiebach, 2003; Bornkessel, Zysset, Friederici, von Cramon & Schlesewsky, 2005; Martin & McDonalds, 2005). Andererseits war dieses Gehirnareal auch bei anderen Studien zur Theory of Mind bereits aktiv, wie z.B. in der bekannten Studie von Kobayashi und Kollegen (2007) und auch in einer Studie von Moriguchi und Kollegen (2007). In einer Studie von Kobayashi (2010) zeigte der inferiore frontale Gyrus bei Kindern stärkere Aktivierungen als bei Erwachsenen, wenn sie eine nonverbale ToM-Aufgabe bearbeiten sollten, im Vergleich zu einer ToM-Geschichte, also einer verbalen Aufgabe. Der Autor folgerte daraus, dass es für Kinder anstrengender zu sein scheint, aus einer nonverbalen ToM-Aufgabenstellung eine verbale Bedeutung bzw. Syntax zu konstruieren. Dies würde im Einklang mit unserer Aufgabenstellung stehen, da unsere Stimuli aus Bildergeschichten bestanden und daraus vermutlich erst eine verbale Bedeutung konstruiert werden musste.

Auch der rechte mittlere frontale Gyrus, der in unserer Studie aktiv war, wurde bereits in einigen Studien zur Theory of Mind gefunden. Dabei gibt es jedoch Unterschiede in der

Aufgabenstellung der jeweiligen Untersuchungen, die die genaue Funktion des Areal in Bezug auf das Mentalizing etwas im Unklaren lassen. Einige Autoren vertreten die Meinung, dass der MFG nur bei Aufgaben zur Theory of Mind aktiv ist, wenn die Testinstruktionen die Versuchsperson explizit dazu auffordern, einen mentalen Zustand zu bedenken. In einer Studie von Blakemore, Boyer, Pachot-Clouard, Segebarth & Decety (2003) ergab sich nur eine verstärkte Aktivität im MFG, wenn die Probanden dazu angehalten wurden, sich die Beziehung zwischen sich bewegenden Symbolen klarzumachen. In einer anderen Untersuchung, die die Versuchspersonen explizit dazu aufforderte, Urteile über Menschen im Gegensatz zu Hunden zu fällen, war der MFG ebenfalls aktiv (Mason, Banfield & Macrae, 2004), genauso wie in einer Studie von Platek, Keenan, Gallup & Mohamed (2004), die den Probanden nur die Augenregion anderer Personen als Stimuli darboten und die Aufgabe stellten, daraus die mentalen Zustände dieser fremden Personen abzuleiten. Doch auch in Untersuchungen, in denen diese expliziten Hinweise auf das Nachdenken über mentale Zustände in der Aufgabenstellung fehlten, war der MFG aktiv. In einer Studie von Pelphrey, Morris & McCarthy (2004) war der MFG bei der Decodierung von Absichten aktiv, ohne dass die Versuchspersonen exakt darauf hingewiesen wurden, Mentalizing durchzuführen, genauso wie in einer Untersuchung zu Absichten hinter biologischer Bewegung, in der die Stimuli ebenfalls ohne explizite Instruktionen dargeboten wurden (Mar, Kelley, Heatherton & Macrae, 2007).

In unserer Studie war der rechte MFG (BA 8, BA 10) beim Kontrast FB > TB aktiv, wobei die Probanden im vorliegenden Fall auch explizit darauf hingewiesen wurden, sich ins Gedächtnis zu rufen, was die Person in der Bildergeschichte wissen kann und was nicht.

Beim Kontrast FB > FR war in dieser Untersuchung auch der rechte MFG aktiv, allerdings eher in Richtung des prämotorischen Kortex (BA 6). Auf dessen Bedeutung komme ich im folgenden Kapitel (siehe Kap. 4.3.3) noch einmal zurück.

### **4.3 Interpretation der Funktion einzelner Gehirnnareale mit Hilfe der Ergebnisse aus der bekannten Literatur**

#### **4.3.1 Inferiorer Parietallappen (IPL)**

Dem inferioren Parietallappen wird, wenn dieses Areal auch nicht so konsistent bei Studien zur Theory of Mind gefunden wird wie die im vorhergehenden Kapitel (siehe Kap. 4.2) genannten, auch eine gewisse Bedeutung für den Prozess des Mentalizing zugeschrieben. Dies wird begründet durch das mögliche Vorhandensein von sog. „Spiegelneuronen“ im Parietalkortex des Menschen (z.B. Fogassi, Gallese, Fadiga & Rizzolatti, 1998).

Aus einigen anderen Untersuchungsergebnissen bildete sich die Meinung heraus, dass der IPL möglicherweise eine wichtige Rolle spielt bei der Übernahme von Perspektiven,

wobei die Befunde zu dieser Erkenntnis etwas widersprüchlich sind. So interpretierten Brüne und Brüne-Cohrs (2005) bisherige Studienergebnisse in der Form, dass der linke IPL bei der Einnahme der Perspektive der 1. Person aktiv sei, während der rechte IPL Aktivität bei der Einnahme der 3. Person-Perspektive zeige (Ruby & Decety, 2001) und dass diese Lateralisierung abhängig von der in der jeweiligen Aufgabe nötigen Perspektive auch beim Mentalizing erfolge (Decety & Chaminade, 2005).

Was die Rolle bzw. die Lateralisierung des IPL bei der Verarbeitung mentaler Zustände betrifft, wird von Abu-Akel (2003) ein anderes Modell vorgeschlagen. Der Autor behauptet, dass in Zusammenschau mehrerer Studien (z.B. Vogeley et al., 2001; Spence et al., 1997; Iacoboni et al., 1999) davon ausgegangen werden müsse, dass der rechte IPL für die Repräsentation mentaler Zustände verantwortlich sei, die das „Selbst“, somit also die Perspektive der 1. Person, betreffen.

Die vorliegende Studie lieferte als Ergebnis des Kontrastes FB > TB eine verstärkte Aktivität des bilateralen IPL (BA 40). Eine Lateralisierung zu einer Seite bei der Belief-Attribution, wie von Abu-Akel (2003) beschrieben, scheint daher eher unwahrscheinlich, zumindest bei Kindern. Unsere Untersuchung unterstützt möglicherweise eher die Meinung von Brüne et al. (2005), dass der bilaterale IPL für die Zuschreibung mentaler Zustände notwendig ist, jedoch abhängig von der Perspektive. Es könnte sein, dass sich Kinder noch stärker in die Protagonisten der Bildergeschichten hineinversetzen in dem Sinne, dass sie zwar primär die Attribution des Beliefs in der Perspektive der 3. Person vornehmen. Doch zusätzlich könnten sie sich vorstellen, selbst an der Stelle der Hauptperson zu stehen und im Einklang mit der Simulation Theory (siehe Kap. 1.3.1) das Wissen und damit die Überzeugung dieser Person zu simulieren, um die richtige Antwort zu finden oder zu kontrollieren. Sie würden damit beide Perspektiven, sowohl die der 1. als auch die der 3. Person einnehmen und damit auch den bilateralen IPL aktivieren.

Die Diskussion eines möglichen Zusammenhangs mit der altersbedingten Entwicklung des ToM-Netzwerks im Sinne eines Shifts von eher frontalen zu eher parietalen Arealen mit steigendem Alter ist in Kapitel 4.4.3 aufgeführt.

#### 4.3.2 Precuneus

Mediale parietale Regionen wie der Precuneus und das posteriore Cingulum zählen zwar nicht zu den klassischen Arealen des bekannten ToM-Netzwerks und werden auch in der bisherigen Literatur weniger konsistent bei der Bearbeitung von Theory of Mind-Aufgaben gefunden wie die bereits im vorhergehenden Kapitel (siehe Kap. 4.2) diskutierten Gehirnregionen. Trotzdem finden sich in einigen Studien im Zusammenhang mit ToM verstärkte Aktivierungen dieser Areale.

In der bereits mehrfach erwähnten Studie von Saxe und Kollegen (2005) schrieben die Autoren den medialen parietalen Regionen eine Bedeutung in Bezug auf soziale Kognition und Mentalizing im Allgemeinen zu. In Untersuchungen, bei denen die Versuchspersonen die Perspektive einer anderen Person einnehmen mussten (z.B. Ruby et al., 2001; Jackson, Brunet, Meltzoff & Decety, 2006) waren die genannten Areale ebenfalls aktiv.

Dabei spielen diese, so scheint es, vor allem eine Rolle, wenn die Perspektive einer anderen Person in Bezug auf deren Gedanken und weniger in Bezug auf deren Körperwahrnehmung eingenommen wird (Saxe & Powell, 2006). Doch auch wenn ein Proband Urteile bezüglich sich selbst fällen sollte, zeigten sich dort verstärkte Aktivierungen (Johnson et al., 2002). Außerdem haben mediale parietale Areale wohl auch Bedeutung bei der Prozessierung von Emotionen (Ochsner et al., 2004), und dabei möglicherweise besonders von sozialen Emotionen (Britton et al., 2006).

Im Falle unserer Studie ergab sich eine Aktivierung des Precuneus (BA 31) nur beim sehr engen Kontrast FB > FR. Ein Zusammenhang mit Emotionen lässt sich beim vorliegenden Studiendesign praktisch ausschließen, deshalb kann man diese verstärkte Aktivität wohl am ehesten mit der Einnahme der Perspektive einer anderen Person, also dem Protagonisten der Bildergeschichte, erklären. Die Probanden wurden beim Einüben der Aufgaben in der vorliegenden Untersuchung explizit darauf hingewiesen, sich in die Hauptperson der Bildergeschichte hineinzusetzen und darüber nachzudenken, was diese Person gesehen hat und deshalb wissen kann. Gerade bei der False Belief-Bedingung ist diese Einnahme einer anderen Perspektive sehr wichtig, um die Frage zur Überzeugung dieser Person richtig zu beantworten. Im Gegensatz dazu muss man die Perspektive des Protagonisten nicht einnehmen, wenn in der Kontrollbedingung False Reality nur nach der wahren Lokalisation des Gegenstandes gefragt wird. Die richtige Antwort hängt in diesem Fall ja nur von der Wirklichkeit ab, also konnten die Probanden ohne die Einnahme einer anderen Perspektive die Antwort geben.

#### 4.3.3 Sonstige Gehirnareale

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen signifikante Aktivierungen von Arealen, die zwar hin und wieder in Studien zur Theory of Mind gefunden wurden, deren Aktivität aber weniger Relevanz für das ToM-Netzwerk hat oder deren Bedeutung gerade im Zusammenhang mit sozialer Kognition unklar und fraglich erscheint. Dazu gehören Aktivierungen im prämotorischen Kortex (BA 6) sowie in tiefer liegenden Gehirnstrukturen wie z.B. dem Thalamus und dem Nucleus caudatus.

Aktivierungen von Arealen im Kleinhirn, in der dorsalen prämotorischen Region und in den fusiformen Gyri sind durchaus in mehreren Studien zur Theory of Mind und zur sozialen Kognition gefunden worden und sind aus diesem Grund möglicherweise mit diesen Prozessen assoziiert (z.B. Brunet, Sarfati, Hardy-Baylé & Decety, 2000; Calarge, Andreasen & O'Leary, 2003; Moriguchi et al., 2007; Schultz et al., 2003).

Außerdem scheint der prämotorische Kortex, neben den intraparietalen Sulci, eine Gehirnregion zu sein, die eher sensibel für nicht-menschliche Bewegung - d.h. für die Bewegung von Objekten - ist bzw. ein Areal, das zwischen biologischer Bewegung und der Bewegung von unbelebten Dingen nicht unterscheiden kann (Beauchamp, Lee, Haxby & Martin, 2002; Pelphrey et al., 2003). Vielleicht hängt diese Aktivierung teilweise mit den

etwas abgehackt wirkenden Ortswechseln der Hauptpersonen in den dargebotenen Bildergeschichten zusammen.

Die in unserer Studie gefundene Aktivierung von subkortikalen sensorischen Pfaden, wie z.B. des Nucleus caudatus und des Thalamus, ist auch als Ergebnis relativ vieler anderer Studien zu finden (z.B. Mar et al., 2007). Diese Aktivität wird damit erklärt, dass diese frühen visuellen Areale sensitiv sind für Hinweise auf die Wahrnehmungstiefe (Backus, Fleet, Parker & Heeger, 2001). Somit sind gerade visuelle Stimuli, auch wenn diese nur aus schwarz-weißen Umrisszeichnungen bestehen, wohl ein Grund für die Aktivität dieser Strukturen.

#### **4.4 Vergleichende Interpretation im Hinblick auf eine fMRT-Studie zur Belief-Attribution bei Erwachsenen mit demselben Paradigma wie in der vorliegenden Studie**

Schuerk (2010) untersuchte 18 erwachsene Probanden im mittleren Alter von 25 Jahren mit dem gleichen Paradigma, wie es in der vorliegenden Studie bei Kindern verwendet wurde.

In dieser Studie konnte wie auch in vielen anderen Studien zur Belief-Attribution die Bedeutung der TPJ und des mPFC verdeutlicht werden. Die rechte TPJ zeigte sowohl beim Kontrast FB > FR als auch beim Kontrast TB > TR verstärkte Aktivierungen, was möglicherweise darauf hindeutet, dass die TPJ generell für die Belief-Attribution, also für die Attribution von True und False Beliefs, eine Rolle spielt. Dagegen ist nach Interpretation des Autors der mPFC nicht spezifisch für die Attribution von False Beliefs. Dies wird dadurch begründet, dass der mPFC zwar beim Kontrast FB > TB stärkere Aktivierungen zeigte, allerdings wurde er auch bei der nichtmentalen Kontrollbedingung, d.h. dem Kontrast FR > TR, aktiviert, und nicht beim engeren Kontrast FB > FR. Vermutlich lässt dies eher darauf schließen, dass der mPFC durch exekutive Funktionen, wie z.B. die Erkennung von mehreren konkurrierenden Antwortmöglichkeiten, die Inhibition irrelevanter Stimuli und der dadurch erst möglichen Auswahl der korrekten Antwort beim Prozess des Mentalizing unterstützend mitwirkt.

##### **4.4.1 Vergleichende Interpretation für den Kontrast FB > FR**

In der Erwachsenenstudie zeigte dieser Kontrast ausschließlich in der rechten TPJ signifikante Aktivierungen, während die Kinder in der vorliegenden Studie eine Vielzahl von Arealen aktivierten, die über das ganze Gehirn verteilt sind, wobei in diesem Fall die TPJ überhaupt nicht aktiviert wurde.

Dies stellt die Bedeutung der TPJ für die Belief-Attribution im Kindesalter sehr in Frage. Jedoch könnte dieses Ergebnis ein Hinweis auf die Theorie des altersbedingten Shifts

der Aktivierungen bei Aufgaben zur Theory of Mind im Allgemeinen sein, dass bei Kindern vor der Pubertät die TPJ zur Bearbeitung solcher Aufgaben noch keine Rolle spielt und erst mit Beginn der Pubertät immer mehr an Bedeutung gewinnt. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass Kinder sowohl bei der False Belief- als auch bei der False Realität-Bedingung Mentalizing durchführen, weil in beiden Aufgabenstellungen das zweite Kind den Raum verlässt und somit nicht sieht, was mit dem Gegenstand im Zimmer passiert. Also könnte es durchaus sein, dass bei der False Realität-Bedingung zusätzlich Mentalizing durchgeführt wird, sozusagen als zusätzliche Gegenkontrolle der Antwort. Dadurch würde die TPJ in beiden Fällen aktiviert und deshalb beim Kontrast der beiden Bedingungen herausfallen.

#### 4.4.2 Vergleichende Interpretation für den Kontrast TB > TR

Für diesen Kontrast gab es in unserer Studie keinerlei Aktivierungen, während die erwachsenen Versuchspersonen nicht nur die rechte (BA 21/22/39) und linke TPJ (BA 22/39) aktivierten, sondern auch den rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex (BA 46), den linken Temporalpol (BA 38) sowie den rechten fusiformen Gyrus (BA 37).

Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass Kinder bei der True Belief-Bedingung kein Mentalizing durchführen, sondern einfach nur die Realität in ihre Überlegungen mit einbeziehen und auf diese vertrauen. Im Gegensatz dazu erkennen Erwachsene zwar auch, dass bei Aufgaben zum True Belief kein Mentalizing erforderlich ist, aber sie scheinen trotzdem, möglicherweise zur Kontrolle ihrer Antwort, unbewusst Mentalizing durchzuführen. Dies wird sowohl an den Aktivierungen deutlich, die ja auch Arealen der Theory of Mind entsprechen, als auch an den Reaktionszeiten bei der Bedingung True Belief, denn Erwachsene weisen bei dieser Bedingung durchweg die längsten Reaktionszeiten auf, auch wenn zwischen den einzelnen Bedingungen kein signifikanter Unterschied besteht.

#### 4.4.3 Vergleichende Interpretation für den Kontrast FB > TB

Einzig beim Vergleich der Ergebnisse von Erwachsenen und Kindern beim Kontrast FB > TB zeigen sich einige Übereinstimmungen. Beide Gruppen zeigen Aktivierungen im mPFC (BA 8/32) sowie im inferioren Parietallappen (BA 40), außerdem im Nucleus caudatus. Bei diesem Kontrast aktivieren Kinder also häufige, auch bei Erwachsenen aktivierte Theory of Mind-Areale, was Hinweise darauf gibt, dass das Theory of Mind-Netzwerk bei Kindern und Erwachsenen prinzipiell gleich zu sein scheint. Zudem zeigt sich hier bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen, dass insgesamt eine Betonung der Aktivierungen auf den frontalen Arealen liegt, was wiederum die Meinung zum altersbedingten Shift unterstützt. Was bei diesem Kontrast jedoch Fragen aufwirft, ist die Aktivierung des inferioren Parietallappens (BA 40). Dieser dürfte nach der Theorie, dass parietale Areale bei der Bearbeitung von Aufgaben zur Theory of Mind bei Kindern wohl eine eher unter-



geordnete Bedeutung besitzen, eigentlich gar nicht aktiv sein. Möglicherweise lässt sich diese Aktivierung aber dadurch erklären, dass bei Kindern auf einer vor- oder frühpubertären Entwicklungsstufe die strukturellen Umbau- und Reorganisationsprozesse der Pubertät noch nicht eingesetzt haben und sie deshalb problemlos auf parietale Areale zugreifen können. Hat die Pubertät dann eingesetzt, könnten sich diese parietalen Areale dann gerade im Umbau befinden und deshalb für das Mentalizing nicht genutzt werden, sondern gewinnen erst nach der Pubertät, im Erwachsenenalter, wieder an Bedeutung.

#### **4.5 Ausblick auf mögliche weiterführende Untersuchungen**

Das Ziel der hier vorliegenden Studie war es, zu untersuchen, welche Gehirnareale bei Kindern im Alter von acht bis zehn Jahren, die sich in einem noch vor- bzw. frühpubertären Stadium ihrer Entwicklung befinden, zur Bearbeitung dieses bestimmten non-verbalen Paradigmas zur Belief-Attribution Bedeutung haben. Dabei stellte sich heraus, dass Kinder im Vergleich zu Erwachsenen doch recht unterschiedliche Gehirnareale bei der Bearbeitung derartiger Aufgaben aktivieren, auch wenn das grundlegende, aus den Erwachsenenstudien bekannte Netzwerk bei Kindern trotzdem auch seine Bedeutung zu haben scheint. Die Interpretation unserer Ergebnisse, und vor allem die Einbettung in den Kontext der bereits vorliegenden funktionellen Studien zur Belief-Attribution bei Kindern, gestaltete sich gerade deshalb schwierig, weil bisher nur wenige solcher Studien durchgeführt wurden. Auch waren bei diesen Untersuchungen die Zielsetzungen relativ unterschiedlich, was einen Vergleich der Ergebnisse dieser Studien bei Kindern untereinander zusätzlich erschwert.

Somit bleibt die hier vorliegende Studie die bisher einzige, die explizit Kinder in einem sehr engen Altersbereich untersuchte, welche sich alle im selben vor- bzw. frühpubertären Entwicklungsstadium befanden.

Um die Entwicklung des ToM-Netzwerkes von der Kindheit bis über die Adoleszenz zum Erwachsenenalter darstellen zu können, müsste man mehrere Studien mit immer demselben Stimulusmaterial an verschiedenen Altersgruppen testen. Dabei wäre es zusätzlich interessant zu überprüfen, ob gleichaltrige Kinder, die jedoch in der Pubertätsentwicklung schon unterschiedlich weit fortgeschritten sind, auch eine andere Gewichtung in der Aktivierung der Gehirnareale zeigen.

Doch nicht nur die regelrechte Entwicklung des ToM-Netzwerkes im Laufe des Lebens erscheint interessant. Viel wichtiger dürfte es sein, die verschiedenen Pathologien dieser Entwicklung aufzudecken, die zu klinisch relevanten Krankheitsbildern führen. Aus den Ergebnissen mehrerer bereits durchgeführter Studien schließt man, dass bei Patienten mit Autismus und mit Asperger-Syndrom, sowie bei Patienten mit bestimmten Formen der Schizophrenie - Patienten mit ausgeprägter Negativsymptomatik, Patienten mit dem Wahngedanken, unter Kontrolle von außen zu stehen, und Patienten mit paranoid-



halluzinatorischer Schizophrenie - ein oder mehrere Komponenten bzw. Funktionen des ToM-Netzwerkes ein mehr oder weniger spezifisches Defizit aufweisen, welches im jeweiligen Krankheitsbild resultiert (z.B. Bowler, 1992; Corcoran, Mercer & Frith, 1995; Frith, 1992; Sarfati, Hardy-Baylé, Brunet & Widlöcher, 1999). Wenn nun eine genügende Anzahl von Studien zur Entwicklung des ToM-Netzwerkes bei Gesunden vorliegen würde und deren Befunde unabhängig voneinander repliziert werden könnten, könnten diese als Vergleichsmaterial dienen, um Untersuchungen an Patienten mit den oben genannten psychischen Erkrankungen durchzuführen. Möglicherweise ließe sich daraus ableiten, welches Defizit im ToM-Netzwerk für welche Erkrankung spezifisch ist und in welchem Alter dieses Defizit bereits feststellbar ist im Vergleich zu gesunden Kontrollprobanden. Vielleicht wäre es aus diesen Hinweisen dann nicht nur möglich, die Störung zum frühestmöglichen Zeitpunkt zu diagnostizieren und dadurch dem Betroffenen eine schnelle und adäquate Therapie zukommen zu lassen, sondern eventuell ließen sich auch Strategien und Behandlungsmöglichkeiten entwickeln, die eine pathologische Entwicklung der betroffenen Gehirnstrukturen verzögern oder sogar aufhalten könnten.

## 5. Literaturangaben

Abu-Akel, A. (2003). A neurobiological mapping of theory of mind. *Brain Research Reviews* 43, S. 29-40.

Aichhorn, M., Perner, J., Kronbichler, M., Staffen, W. & Ladurner, G. (2006). Do visual perspective tasks need theory of mind?. *NeuroImage* 30, S. 1059-1068.

Aichhorn, M., Perner, J., Weiss, B., Kronbichler, M., Staffen, W. & Ladurner, G. (2009). Temporo-parietal Junction Activity in Theory-of-Mind Tasks: Falseness, Beliefs, or Attention. *Journal of Cognitive Neurosciences* 21:6, S. 1179-1192.

Allison, T., Puce, A. & McCarthy, G. (2000). Social perception from visual cues: role of the STS region. *TRENDS in Cognitive Sciences* 4:7, S. 267-278.

Bachevalier, J., Meunier, M., Lu, M. X. & Ungerleider, L. G. (1997). Thalamic and temporal cortex input to medial prefrontal cortex in rhesus monkeys. *Experimental Brain Research* 115, S. 430-444.

Backus, B. T., Fleet, D. J., Parker, A. J. & Heeger, D. J. (2001). Human cortical activity correlates with stereoscopic depth perception. *Journal of Neurophysiology* 86, S. 2054-2068.

Baron-Cohen, S., Leslie, A. M. & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a "theory of mind"? *Cognition* 21, S. 37-46.

Bartsch, K. & Wellman, H. M. (1995). Children talk about the mind. New York: Oxford University Press.

Beauchamp, M. S., Lee, K. E., Haxby, J. V. & Martin, A. (2002). Parallel visual motion processing streams for manipulable objects and human movements. *Neuron* 34, S. 149-159.

Bird, C. M., Castelli, F., Malik, O., Frith, U. & Husain, M. (2004). The impact of extensive medial frontal lobe damage on "Theory of Mind" and cognition. *Brain* 127:4, S 914-928.

Blakemore, S.-J. (2008). The social brain in adolescence. *Nature* 9, S. 267-277.

Blakemore, S.-J., Boyer, P., Pachot-Clouard, M., Segebarth, C. & Decety, J. (2003). The

detection of contingency and animacy from simple animations in the human brain. *Cerebral Cortex* 13, S. 837-844.

Blakemore, S.-J. & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 47:3, S. 296-312.

Blakemore, S.-J., den Ouden, H., Choudhury, S. & Frith, D. (2007). Adolescent development of the neural circuitry for thinking about intentions. *Social Cognitive and Affective Neurosciences* 2, S. 130-139.

Bonda, E., Petrides, M., Ostry, D. & Evans, A. (1996). Specific Involvement of Human Parietal Systems and the Amygdala in the Perception of Biological Motion. *The Journal of Neuroscience* 16:11, S. 3737-3744.

Bornkessel, I., Zysset, S., Friederici, A. D., von Cramon, D. Y. & Schlesewsky, M. (2005). Who did what to whom? The neural basis of argument hierarchies during language comprehension. *NeuroImage* 26, S. 221-233.

Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., Frackowiak, R. S. J. & Frith, C. (1994). The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study. *Brain* 117:6, S. 1241-1253.

Bowler, D. M. (1992). "Theory of mind" in Asperger's syndrome. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 33, S. 877-893.

Britton, J. C., Phan, K. L., Taylor, S. F., Welsh, R. C., Berridge, K. C. & Liberzon, I. (2006). Neural correlates of social and nonsocial emotions: an fMRI study. *NeuroImage* 31, S. 397-409.

Brüne, M. & Brüne-Cohrs, U. (2006). Theory of mind - evolution, ontogeny, brain mechanisms and psychopathology. *Neuroscience and Behavioral Reviews* 30, S. 437-455.

Brunet, E., Sarfati, Y., Hardy-Baylé, M. C. & Decety, J. (2000). A PET investigation of the attribution of intentions with a nonverbal task. *NeuroImage* 11, S. 157-166.

Burgess, P. W., Quayle, A. & Frith, C. D. (2001). Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia* 39:6, S. 545-555.

- Burgess, P. W., Simons, J. S., Dumontheil, I. & Gilbert, S. J. (2005). The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. In J. Duncan, L. Phillips & P. McLeod (Eds.), *Measuring the mind: Speed, control, and age* (S. 217-248). Oxford: Oxford University Press.
- Burnett, S., Bird, G., Moll, J., Frith, C & Blakemore, S.-J. (2008). Development during Adolescence of the Neural Processing of Social Emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience* 21:9, S. 1736-1750.
- Butterworth, G. (1991). The ontogeny and phylogeny of joint visual attention. In *Natural theories of mind: evolution, development and simulation of everyday mindreading* (ed. A. Whiten), S. 223-232. Cambridge, MA: Blackwell.
- Calarge, C., Andreasen, N. C. & O'Leary, D. S. (2003). Visualizing how one brain understands another. a PET study of theory of mind. *American Journal of Psychiatry* 160, S. 1954-1964.
- Carey, S., Diamond, R. & Woods, B. (1980). Development of face recognition: A maturational component?. *Developmental Psychology* 16:4, S. 257-269.
- Caron, A. J., Caron, R., Roberts, J. & Brooks, R. (1997). Infant sensitivity to deviations in dynamical facial-vocal displays: the role of eye regard. *Developmental Psychology* 33, S. 802-813.
- Choudhury, S., Blakemore, S.-J. & Charman, T. (2006). Social cognitive development during adolescence. *SCAN*, S. 165-174.
- Clements, W. A. & Perner, J. (1994). Implicit understanding of belief. *Cognitive Development* 9:4, S. 377-395.
- Collins, D. L., Neelin, P., Peters, T. & Evans, A. C. (1994). Automatic 3D Intersubject Registration of MR Volumetric Data in Standardized Talairach Space. *Journal of Computer Assisted Tomography* 18:2, S. 192-205.
- Corcoran, R., Mercer, G., & Frith, C. D. (1995). Schizophrenia, symptomatology and social inference: Investigating "theory of mind" in people with schizophrenia. *Schizophrenia Research* 17, S. 5-13.
- Corkum, V. & Moore, C. (1995). Origins of joint visual attention in infants. *Developmental Psychology* 34:1, S. 28-38.

- Csibra, G., Gergely, G., Bíró, S., Koós, O & Brockbank, M. (1999). Goal attribution without agency cues: the perception of "pure reason" in infancy. *Cognition* 72:3, S. 237-267.
- Decety, J. & Chaminade, T. (2005). The neurophysiology of imitation and intersubjectivity. In: Hurley, S., Chater, N. (Eds.), *Perspectives on Imitation. Vol. 1. Mechanisms of Imitation and Imitation in Animals*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Dennett, D. C. (1978). Current issues in the philosophy of mind. *American Philosophical Quarterly* 15:4, S. 249-261.
- Den Ouden, H. E. M., Frith, U., Frith, C. & Blakemore, S.-J. (2005). Thinking about intentions. *NeuroImage* 28, S. 787-796.
- Diamond, R., Carey, S. & Black, K. (1983). Genetic influences on the development of spatial skills during early adolescence. *Cognition* 13, S. 167-185.
- Farroni, T., Csibra, G., Simion, F. & Johnson, M. H. (2002). Eye contact detection in humans from birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99, S. 9602-9605.
- Farroni, T., Mansfield, E. M., Lai, C. & Johnson, M. H. (2003). Infants perceiving and acting on the eyes: Tests of an evolutionary hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 85, S. 199-212.
- Fink, G. R., Markowitsch, H. J., Reinkemeier, M., Bruckbauer, T., Kessler, J. & Heiss, W.-D. (1996). Cerebral Representation of One's Own Past: Neural Networks Involved in Autobiographical Memory. *The Journal of Neuroscience* 16:13, S. 4257-4282.
- Flavell, J. H. (1999). Cognitive Development: Children's Knowledge About the Mind. *Annual Review of Psychology* 50, S. 21-45.
- Fletcher, P. C., Happé, F., Frith, U., Baker, S. C., Dolan, R. J., Frackowiak, R. S. J. & Frith, C. D. (1995). Other minds in the brain: a functional imaging study of 'theory of mind' in story comprehension. *Cognition* 44, S. 283-296, 57, S. 109-128.
- Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L. & Rizzolatti, G. (1998). Neurons responding to the sight of goal-directed hand/arm actions in the parietal area PF (7b) of the macaque monkey. *Society for Neuroscience Abstracts* 257:5, S. 654.
- Friederici, A. D., Rüschemeyer, S. A., Hahne, A. & Fiebach, C. J. (2003). The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes. *Cerebral Cortex* 13, S. 170-177.

- Frith, C. D. (1992). *The Cognitive Neuropsychology of Schizophrenia*. Lawrence Erlbaum, Hove, UK.
- Frith, C. D. & Frith, U. (1999). Interacting Minds - A Biological Basis. *Science* 286:5445, S. 1692-1695.
- Frith, U. & Frith, C. D. (2003). Development and neurophysiology of mentalizing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 358, S. 459-473.
- Gallagher, H. L. & Frith, C. D. (2003). Functional imaging of 'theory of mind'. *TRENDS in Cognitive Sciences* 7:2, S. 77-83.
- Gallagher, H. L., Happé, F., Brunswick, N., Fletcher, P. C., Frith, U. & Frith, C. D. (2000). Reading the mind in cartoons and stories: an fMRI study of 'theory of mind' in verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia* 38, S. 11-21.
- Gallagher, H. L., Jack, A. I., Roepstorff, A. & Frith, C. D. (2002). Imaging the intentional stance in a competitive game. *NeuroImage* 16, S. 814-821.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain* 119, S. 593-609.
- Gallese, V. & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *TRENDS in Cognitive Sciences* 2:12, S. 493-501.
- Gallese, V., Keysers, C. & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *TRENDS in Cognitive Sciences* 8:9, S. 396-403.
- Garnham, W. A. & Ruffman, T. (2001). Doesn't see, doesn't know: is anticipatory looking really related to understanding or belief?. *Developmental Science* 4:1, S. 94-100.
- Gergely, G., Nádasdy, Z., Csibra, G. & Bíró, S. (1995). Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition* 56:2, S. 165-193.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C. & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience* 2:10, S. 861-863.
- Goel, V., Grafman, J., Sadato, N. & Hallett, M. (1995). Modeling other minds. *NeuroReport* 6, S. 1741-1746.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent

- Ill, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L. & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *PNAS* 21, S. 8174-8179.
- Goldman, A. I. (1992). In Defense of the Simulation Theory. *Mind & Language* 7:1-2, S. 104-119.
- Gordon, R. M. (1986). Folk Psychology as Simulation. *Mind & Language* 1:2, S. 158-171.
- Grèzes, J., Costes, N. & Decety, J. (1999). The effects of learning and intention on the neural network involved in the perception of meaningless actions. *Brain* 122:10, S. 1875-1887.
- Gusnard, D. A., Akbudak, E., Shulman, G. L. & Raichle, M. E. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: relation to a default mode of brain function. *PNAS USA* 98, S. 4259-4264.
- Harris, P. L. (1991). The work of imagination. In *Natural theories of mind: evolution, development and simulation of everyday mindreading* (ed. A. Whiten), S. 283-304. Cambridge, MA: Blackwell.
- Henson, R. N. A., Buechel, C., Josephs, O. & Friston, K. J. (1999). The slice-timing problem in event-related fMRI. *NeuroImage* 9, S. 125.
- Hoffman, E. A. & Haxby, J. V. (2000). Distinct representations of eye gaze and identity in the distributed human neural systems for face perception. *Nature Neuroscience* 3, S. 80-84.
- Hood, B. M., Willen, J. D. & Driver, J. (1997). Adult's Eyes Trigger Shifts of Visual Attentions in Human Infants. *Psychological Science* 9:2, S. 131-134.
- Hubel, D. N. & Wiesel, T. N. (1962). Receptive fields, binocular interactions and functional architecture in the cat's visual cortex. *Journal of Physiology* 160, S. 106-154.
- Huttenlocher, P. R. (1979). Synaptic density in human frontal cortex - developmental changes and effects of aging. *Brain Research* 163, S. 195-205.
- Huttenlocher, P. R., De Courten, C., Garey, L. J. & Van der Loos, H. (1983). Synaptic development in human cerebral cortex. *International Journal of Neurology* 16-17, S. 144-154.



Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C. & Rizzolatti, G. (1999). Cortical mechanisms of human imitation. *Science* 286, S. 2526-2528.

Jackson, P. L., Brunet, E., Meltzoff, A. N. & Decety, J. (2006). Empathy examined through the neural mechanisms involved in imaging how I feel versus how you feel pain. *Neuropsychologia* 44, S. 752-761.

Johnson, M. H. & Morton, J. (1991). Biology and cognitive development: the case of face recognition. Oxford: Blackwell.

Johnson, S. C., Baxter, L. C., Wilder, L. S., Pipe, J. G., Heiserman, J. E. & Prigatano, G. P. (2002). Neural correlates of self-reflection. *Brain* 125, S. 1808-1814.

Kelley, W. M., Macrae, C. N., Wyland, C. L., Caglar, S., Inati, S. & Heatherton, T. F. (2002). Finding the self? An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14, S. 785-794.

Kobayashi, C. F. (2010). Linguistic Effects on the Neural Basis of Theory of Mind. *The Open Neurimaging Journal* 4, S. 37-45.

Kobayashi, C., Glover, G. H. & Temple, E. (2007). Children's and adults' neural bases of verbal and nonverbal 'theory of mind'. *Neuropsychologia* 45, S. 1522-1532.

Kuhl, P. K., Williams, K. A., Lacerda, F., Stevens, K. N. & Lindblom, B. (1992). Linguistic experience alters phonetic perception in infants by 6 months of age. *Science* 255:5044, S. 606-608.

Legerstee, M. (1991). The role of person and object in eliciting early imitation. *Journal of Experimental Child Psychology* 51, S. 423-433.

Legerstee, M. (1992). A review of the animate/inanimate distinction in infancy. *Early Development and Parenting* 1, S. 59-67.

Leslie, A. M. (1987). Pretence and representation: the origins of "theory of mind". *Psychological Review* 94, S. 412-426.

Leslie, A. M. (1994). Pretending and believing: issues in the theory of mind TOMM. *Cognition* 50, S. 211-238.

Leslie, A. M., Friedman, O. & German, T. P. (2004). Core mechanisms in 'theory of mind'. *TRENDS in Cognitive Sciences* 8:12, S. 528-533.

- Logothetis, N. K., Pauls, J., Augath, M., Trinath, T. & Oeltermann, A. (2001). Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature* 412, S. 150-157.
- Macrae, C. N., Moran, J. M., Heatherton, T. F., Banfield, J. F. & Kelley, W. M. (2004). Medial prefrontal activity predicts memory for self. *Cerebral Cortex* 14, S. 647-654.
- Maguire, E. A. & Mummery, C. J. (1999). Differential modulation of a common memory retrieval network revealed by positron emission tomography. *Hippocampus* 9, S. 54-61.
- Maguire, E. A., Mummery, C. J. & Buchel, C. (2000). Patterns of hippocampal-cortical interactions dissociate temporal lobe memory subsystems. *Hippocampus* 10, S. 475-482.
- Maguire, E. A., Vargha-Khadem, F. & Mishkin, M. (2001). The effects of bilateral hippocampal damage on fMRI regional activations and interactions during memory retrieval. *Brain* 124, S. 1156-1170.
- Mar, R. A., Kelley, W. M., Heatherton, T. F. & Macrae, C. N. (2007). Detecting agency from the biological motion of veridical vs. animated agents. *SCAN* 2:3, S. 199-205.
- Martin, I. & McDonalds, S. (2005). Exploring the cause of pragmatic deficits following traumatic brain injury. *Aphasiology* 19, S. 712-730.
- Mason, M. F., Banfield, J. F. & Macrae, C. N. (2004). Thinking about actions: the neural substrates of person knowledge. *Cerebral Cortex* 14, S. 209-214.
- McGivern, R. F., Andersen, J., Byrd, D., Mutter, K. L. & Reilly, J. (2002). Cognitive efficiency on a match to sample task decreases at the onset of puberty in children. *Brain Cognition* 50, S. 73-89.
- Meltzoff, A. N. (1995). Understanding the intentions of others - re-enactment of intended acts bei 18-month-old children. *Developmental Psychology* 31, S. 838-850.
- Mitchell, J. P. (2008). Activity in Right Temporo-Parietal Junction is Not Selective for Theory-of-Mind. *Cerebral Cortex* 18, S. 262-271.
- Mitchell, J. P., Banaji, M. R. & Macrae, C. N. (2005). The link between social cognition and self-referential thought in the medial prefrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience* 17, S. 1306-1315.
- Mitchell, J. P., Heatherton, T. F. & Macrae, C. N. (2002). Distinct neural systems subserve person and object knowledge. *PNAS USA* 99, S. 15228-15234.

- Mitchell, J. P., Macrae, C. N. & Banaji, M. R. (2004). Encoding-specific effects of social cognition on the neural correlates of subsequent memory. *The Journal of Neuroscience* 24, S. 4912-4917.
- Monk, C. S., McClure, E. B., Nelson, E. E., Zarahn, E., Bilder, R. M., Leibenluft, E., Charney, D. S., Ernst, M. & Pine, D. S. (2003). Adolescent immaturity in attention-related brain engagement to facial expressions. *NeuroImage* 20, S. 420-428.
- Moran, M. A., Mufson, E. J. & Mesulam, M. M. (1987). Neural inputs into the temporopolar cortex of the rhesus monkey. *The Journal of Comparative Neurology* 256, S. 88-103.
- Moriguchi, Y., Ohnishi, T., Mori, T., Matsuda, H. & Komaki, G. (2007). Changes of brain activity in the neural substrates for theory of mind during childhood and adolescence. *Psychiatry and Clinical Neurosciences* 61, S. 355-363.
- Mosconi, M. W., Mack, P. B., McCarthy, G. & Pelphrey, K. A. (2005). Taking an "intentional stance" on eye-gaze shifts: A functional neuroimaging study of social perception in children. *NeuroImage* 27, S. 247-252.
- Nakamura, K., Kawashima, R., Sato, N., Nakamura, A., Sugiura, M., Kato, T., Hatano, K., Ito, K., Fukuda, H., Schormann, T. & Zilles, K. (2000). Functional delineation of the human occipito-temporal areas related to face and scene processing - a PET study. *Brain* 123:9, S. 1903-1912.
- Nakamura, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Nagumo, S., Kubota, K., Fukuda, H., Ito, K. & Kojima, S. (2001). Neural substrates for recognition of familiar voices: a PET study. *Neuropsychologia* 39:10, S. 1047-1054.
- Noppeney, U. & Price, C. J. (2002a). A PET study of stimulus- and task-induced semantic processing. *NeuroImage* 15, S. 927-935.
- Noppeney, U. & Price, C. J. (2002b). Retrieval of visual, auditory, and abstract semantics. *NeuroImage* 15, S. 917-926.
- Ochsner, K. N., Knierim, K., Ludlow, D. H., Hanelin, J., Ramachandran, T., Glover, G. & Mackey, S. C. (2004). Reflecting upon feelings: an fMRI study of neural systems supporting the attribution of emotion to self and other. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16, S. 1746-1772.
- Onishi, K. H. & Baillargeon, R. (2005). Do 15-Month-Old Infants Understand False Beliefs?. *Science* 308, S. 255-258.

Pelphrey, K. A., Mitchell, T. V., McKeown, M. J., Goldstein, J., Allison, T. & McCarthy, G. (2003). Brain activity evoked by the perception of human walking: controlling for meaningful coherent motion. *The Journal of Neuroscience* 23, S. 6819-6825.

Pelphrey, K. A., Morris, J. P. & McCarthy, G. (2004). Grasping the intentions of others: the perceived intentionality of an action influences activity in the superior temporal sulcus during social perception. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16, S. 1706-1716.

Perner, J. (1991). Understanding the representational mind. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.

Perner, J., Baker, S. & Hutton, D. (1994). Prelief: The conceptual origins of belief and pretence. In C. Lewis & P. Mitchell (Eds.), *Children's early understanding of mind: Origins and development* (S. 427-455). Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.

Perner, J. & Wimmer, H. (1985). "John thinks that Mary thinks that...": attribution of second-order beliefs by 5- to 10-year old children. *Journal of Experimental Child Psychology* 39, S. 437-471.

Pfefferbaum, A., Mathalon, D. H., Sullivan, E. V., Rawles, J. M., Zipursky, R. B. & Lim, K. O. (1994). A quantitative magnetic resonance imaging study of changes in brain morphology from infancy to late adulthood. *Archives of Neurology* 51, S. 874-887.

Pfeifer, J. H., Lieberman, M. D. & Dapretto, M. (2007). "I know you are but what am I?": neural bases of self- and social knowledge retrieval in children and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience* 19, S. 1323-1337.

Platek, S. M., Keenan, J. P., Gallup, G. G. Jr. & Mohamed, F. B. (2004). Where am I? The neurological correlates of self and other. *Cognitive Brain Research* 19, S. 114-122.

Premack, D. & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind?. *Behavioral and Brain Sciences* 1, S. 515-526.

Puce, A., Allison, T., Bentin, S., Gore, J. C. & McCarthy, G. (1998). Temporal cortex activation in humans viewing eye and mouth movements. *The Journal of Neuroscience* 18, S. 2188-2199.

Puce, A. & Perrett, D. (2003). Electrophysiology and brain imaging of biological motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 358, S. 435-445.

- Rizzolatti, G., Fogassi, L. & Gallese, V. (2002). Motor and cognitive functions of the ventral premotor cortex. *Current Opinion in Neurobiology* 12, S. 149-154.
- Ruby, P. & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience* 4, S. 546-550.
- Sarfati, Y., Hardy-Baylé, M C., Brunet, E. & Widlöcher, D. (1999). Investigating theory of mind in schizophrenia: Influence of verbalization in disorganized and non-disorganized patients. *Schizophrenia Research* 37, S. 183-190.
- Saxe, R. (2006). Why and how to study Theory of Mind with fMRI. *Brain Research* 1079, S. 57-65.
- Saxe, R. & Kanwisher, N. (2003). People thinking about thinking people. The role of the temporo-parietal junction in "theory of mind". *NeuroImage* 19, S. 1835-1842.
- Saxe, R. & Powell, L. J. (2006). It's the thought that counts: specific brain regions for one component of theory of mind. *Psychological Science* 17, S. 692-699.
- Saxe, R. & Wexler, A. (2005). Making sense of another mind: The role of the right temporo-parietal junction. *Neuropsychologia* 43, S. 1391-1399.
- Schank, R. C. & Abelson, R. P. (1977). Scripts, plans, goals and understanding: an inquiry into human knowledge structures. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schmitz, T. W., Kawahara-Baccus, T. N. & Johnson, S. C. (2004). Meta-cognitive evaluation, self-relevance and the right prefrontal cortex. *NeuroImage* 22, S. 941-947.
- Schultz, R. T., Gherlotti, D. J., Klin, A., Kleinman, J., Van der Gaag, C., Marois, R. & Skudlarski, P. (2003). The role of the fusiform face area in social cognition: implications for the pathobiology of autism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences* 358, S. 415-427.
- Schuwerk, T. (2010). Are True Beliefs still Beliefs? Neural Processes of Belief Attribution. *Unveröffentlichte Diplomarbeit*.
- Shaw, P., Kabani, N. J., Lerch, J. P., Eckstrand, K., Lenroot, R., Gogtay, N., Greenstein, D., Clasen, L., Evans, A., Rapoport, J. L., Giedd, J. N. & Wise, S. P. (2008). Neurodevelopmental Trajectories of the Human Cerebral Cortex. *The Journal of Neuroscience* 28, S. 3586-3594.

- Sodian, B., Schöppner, B. & Metz, U. (2004). Do infants apply at the principle of rational action to human agents?. *Infant Behavior and Development* 27, S. 31-41.
- Sodian, B. & Thoermer, C. (2004). Infants' understanding of looking, pointing and reaching as cues to goal-directed action. *Journal of Cognition and Development* 5:3, S. 289-316.
- Sodian, B. & Thoermer, C. (2006). Theory of Mind. In: W. Schneider & B. Sodian (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Serie V: Entwicklung, Band 2: Kognitive Entwicklung* (S. 495-608). Göttingen: Hogrefe.
- Sommer, M., Döhnelt, K., Sodian, B., Meinhardt, J., Thoermer, C. & Hajak, G. (2007). Neural correlates of true and false belief reasoning. *NeuroImage* 35, S. 1378-1384.
- Sommer, M., Meinhardt, J., Eichenmüller, K., Sodian, B., Döhnelt, K. & Hajak, G. (2010). Modulation of the cortical false belief network during development. *Brain Research* 1354, S. 123-131.
- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L. & Toga, A. W. (2003). Mapping cortical change across the human life span. *Nature Neuroscience* 6, S. 309-315.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E. & Toga, A. W. (2004). Longitudinal Mapping of Cortical Thickness and Brain Growth in Normal Children. *The Journal of Neuroscience* 24, S. 8223-8231.
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Tessner, K. D. & Toga, A. W. (2001). Mapping continued brain growth and gray matter density reduction in dorsal frontal cortex: Inverse relationships during postadolescent brain maturation. *The Journal of Neuroscience* 21, S. 8819-8829.
- Spelke, E. S., Phillips, A. & Woodward, A. L. (1995). Infants' knowledge of object motion and human action. In: *Causal cognition: a multidisciplinary debate*. Symp. Fyssen Foundation (ed. D. Sperber & D. Premack), S. 44-78. New York: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Spence, S. A., Brooks, D. J., Hirsch, S. R., Liddle, P. F., Meehan, J. & Grasby, P. M. (1997). APET study of voluntary movement in schizophrenic patients experiencing passivity phenomena (delusions of alien control). *Brain* 120, S. 1997-2011.
- Sperber, D. & Wilson, D. (1995). *Relevance: communication and cognition*. Oxford: Blackwell Scientific.

Steele, J. D. & Lawrie, S. m. (2004). Segregation of cognitive and emotional function in the prefrontal cortex: a stereotactic meta-analysis. *NeuroImage* 21, S. 868-875.

Tomasello, M. (1998). Uniquely primate, uniquely human. *Developmental Science* 1, S. 1-30.

Tomasello, M. (1999). Having intentions, understanding intentions, and understanding communicative intentions. In: P. D. Zelazo, J. W. Astington & D. R. Olson (Eds.), *Developing theories of intention* (S. 63-75). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Journal of Psychology* 26, S. 1-12.

Vandenberghe, R., Nobre, A. C. & Price, C. J. (2002). The response of left temporal cortex to sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14, S. 550-560.

Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N. J., Fink, G. R. & Zilles, K. (2001). Mind Reading: Neural Mechanisms of Theory of Mind and Self-Perspective. *NeuroImage* 14, S. 170-181.

Vogeley, K., May, M., Ritzl, A., Falkai, P., Zilles, K. & Fink, G. R. (2004). Neural correlates of first-person perspective as one constituent of human self-consciousness. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16, S. 817-827.

Watzlawick, M. (2009). Die Erfassung des Pubertätsstatus anhand der Pubertal Development Scale. Erste Schritte zur Evaluation einer deutschen Übersetzung. *Diagnostica* 55:1, S. 55-65.

Weiss, R. H. (1989). Grundintelligenztest Skala 2 (CFT 20). Göttingen: Hogrefe.

Wellman, H. M. & Estes, D. (1986). Early understanding of mental entities - a re-examination of childhood realism. *Child Development* 57, S. 910-923.

Wimmer, H. & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs - representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition* 13, S. 103-128.

Woodward, A. L. (2003). Infants' developing understanding of the link between looker and object. *Developmental Science* 6, S. 297-311.

Yakovlev, P. I. & Lecours, A. (1967). The myelogenetic cycles of regional maturation of



the brain. In: Minkowski, A. (ed.), *Regional Development of the Brain in Early Life*. Oxford: Blackwell, 1967, S. 3-70.

Yurgelun-Todd, D. A. & Killgore, W. D. S. (2006). Fear-related activity in the prefrontal cortex increases with age during adolescence: A preliminary fMRI study. *Neuroscience Letters* 406:3, S. 194-199.

Zysset, S., Huber, O., Ferstl, E. & von Cramon, D. Y. (2002). The anterior frontomedian cortex and evaluative judgement: an fMRI study. *NeuroImage* 15, S. 983-991.

## 6. Anhang

### Anhang A1: Einverständniserklärung für die Direktoren der teilnehmenden Grundschulen



Universität Regensburg

Med. Einrichtungen des  
Bezirks Oberpfalz GmbH  
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie,  
Psychosomatik und Psychotherapie  
der Universität Regensburg



Bezirksklinikum Regensburg • 93042 Regensburg

...

Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Helmfried E. Klein

Auskunft erteilt: Kerstin Eichenmüller  
Telefon: 0941 / 941-0  
Durchwahl: 0941 / 941-9412055 (Dienstags 15.00 bis  
16.00; ansonsten Anrufbeantworter)  
Telefax: 0941 / 941-9412065  
E-Mail: kerstin.eichenmueller@medbo.de  
Internet: www.medbo.de  
Datum: 01.06.2013

Sehr geehrte...

mit unserer Arbeitsgruppe möchten wir eine Studie zur „Kognitiven Entwicklung bei Kindern“ durchführen. Wir möchten untersuchen, welche Gehirnregionen bei Aufgaben aktiv sind, in denen Kinder sich in andere Personen hineinversetzen und deren Perspektive übernehmen müssen.

Zur Untersuchung verwenden wir eine Kernspinuntersuchung (funktionelle Magnetresonanztomographie/ fMRT), mit der Aufnahmen von biologischen Vorgängen in Hirngebieten gemacht werden, die diesen kognitiven Vorgängen zugrunde liegen. Bei dieser Untersuchung kommen weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel zur Anwendung, das Verfahren ist für die Gesundheit der Probanden absolut ungefährlich. In den letzten Jahren haben wir bereits Kinder im Alter von zehn bis zwölf Jahren, die an Regensburger Gymnasien rekrutiert wurden getestet. Nun möchten wir unsere Untersuchungen auf Kinder im Alter von acht bis zehn Jahren ausweiten und dazu gerne an die Schüler der 3. und 4. Klassen ihrer Schule einen Infozettel verteilen und fragen, wer an der Studie teilnehmen möchte, insofern von Ihrer Seite aus Einverständnis besteht.

Informationen über unsere Arbeitsgruppe „Clinical Neuroscience Center for Emotions and Social Cognition“ finden Sie im Internet unter der Adresse <http://www.medbo.de/1049.0.html>. Bei Fragen können Sie uns auch gerne kontaktieren.

Prof. Dr. med. G. Hajak

Dr. Monika Sommer

Kerstin Eichenmüller, Dipl.-Psych.

Julia Preidel, Psychologiestudentin

Sophie Kilp, Medizinstudentin

---

**Einverständniserklärung:**

Ich habe die Informationen über die Studie zur „Kognitiven Entwicklung bei Kindern“ gelesen und bin damit einverstanden, dass der Infozettel an die Schüler verteilt wird.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Anhang A2: Elternbrief mit Informationen über die geplante Studie



Universität Regensburg

Med. Einrichtungen des  
Bezirks Oberpfalz GmbH

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie,  
Psychosomatik und Psychotherapie  
der Universität Regensburg



Bezirksklinikum Regensburg • 93042 Regensburg

An  
die Schüler der 3. und 4. Klassen  
bzw. deren Eltern

Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Helmfried E. Klein

Auskunft erteilt:	Kerstin Eichenmüller
Telefon:	0941 / 941-0
Durchwahl:	0941 / 941-9412055 (Dienstags 15.00 bis 16.00; ansonsten Anrufbeantworter)
Telefax:	0941 / 941-9412065
E-Mail:	kerstin.eichenmueller@medbo.de
Internet	www.medbo.de
Datum:	01.06.2013

Liebe Schülerinnen und Schüler, liebe Eltern,

im Rahmen eines Forschungsprojektes führen wir eine **Studie zur kognitiven Entwicklung bei Kindern** durch. Mithilfe einer Kernspinuntersuchung möchten wir herausfinden, welche Gehirnregionen bei Aufgaben aktiv sind, in denen Kinder sich in andere Personen hineinversetzen und deren Perspektive übernehmen müssen. In den letzten Jahren haben wir bereits Kinder im Alter von zehn bis zwölf Jahren, die an Regensburger Gymnasien rekrutiert wurden, getestet und möchten nun unsere Untersuchungen auf Kinder im Alter von acht bis zehn Jahren ausweiten. Wir suchen also **Kinder im Alter von 8 bis 10 Jahren**, die als Probanden an unserer Studie teilnehmen möchten.

Für die Untersuchung wird ein Termin am Bezirksklinikum Regensburg vereinbart, der ca. **zwei Stunden** dauert. Dabei wird den Teilnehmern die Aufgabe erklärt und es wird auch ein kurzer Intelligenztest durchgeführt, dessen Ergebnis Sie dann auch gerne erfahren können. Der zweite Teil der Untersuchung ist dann eine ca. **25 minütige Kernspinuntersuchung**, während der den Kindern verschiedene Bildergeschichten gezeigt werden, in denen sie die Perspektive anderer übernehmen sollen. Die Versuchspersonen für diesen zweiten Teil werden per Zufallsprinzip nach dem ersten Termin ausgewählt.

Bei einer Kernspinuntersuchung (funktionelle Magnetresonanztomographie/ fMRT), mit der Aufnahmen von biologischen Vorgängen in Hirngebieten bei der Bearbeitung verschiedener Aufgaben gemacht werden können, kommen weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel zur Anwendung. Das Verfahren ist für die Gesundheit der Kinder absolut ungefährlich. Informationen über unsere Arbeitsgruppe „Clinical Neuroscience Center for Emotions and Social Cognition“ finden Sie im Internet unter der Adresse <http://www.medbo.de/1049.0.html>. Bei Fragen können Sie uns auch gerne kontaktieren.

Da die Untersuchung mit Hilfe eines Magnetfeldes durchgeführt wird, dürfen keine Metallteile mitgeführt werden (Zahnspange, Ohringe usw.), worauf die Kinder jedoch vor Beginn der Studie nochmals explizit hingewiesen werden. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse sollten unsere Teilnehmer außerdem Rechtshänder sein und keine ADHS-Diagnose aufweisen.

Die Teilnahme an der Studie ist **freiwillig** und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen werden. Die gesetzlichen Datenschutzbestimmungen werden selbstverständlich eingehalten. Die Kinder werden eine kleine Belohnung in Form eines Kino- oder Einkaufsgut-scheins erhalten, die Fahrtkosten zum Untersuchungstermin werden erstattet.

Ich bitte Sie, bei Interesse den untenstehenden Abschnitt abzutrennen und ausgefüllt an die Klassenleitung zurückzugeben. Wir werden dann mit Ihnen Kontakt aufnehmen. Bei Fragen wenden sie sich bitte an Kerstin Eichenmüller (Telefonnummer oben rechts).

Mit freundlichen Grüßen und vielen Dank im Voraus,

Dr. Monika Sommer

Kerstin Eichenmüller, Dipl.-Psych.

Julia Preidel, Psychologiestudentin

Sophie Kilp, Medizinstudentin

✂-----

\_\_\_\_\_  
Name des/der Sorgeberechtigten (in Druckbuchstaben)

\_\_\_\_\_  
Telefonnummer

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des/der Sorgeberechtigten

\_\_\_\_\_  
Name des Kindes (in Druckbuchstaben)

\_\_\_\_\_  
Alter des Kindes

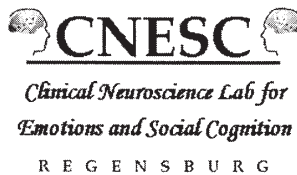
**Anhang B1: Aufklärung bezüglich der Durchführung der Studie für die teilnehmenden Kinder**



**Universität Regensburg**

Med. Einrichtungen des  
Bezirks Oberpfalz GmbH

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie,  
Psychosomatik und Psychotherapie  
der Universität Regensburg



**Zentrum für Emotionen und soziale Kognition  
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie  
der Universität Regensburg**

**Informationsblatt für Kinder/Jugendliche  
zur funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT):**

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

**Vielen Dank für Deine Bereitschaft, an unserer Studie teilzunehmen.** Hier kannst du noch einmal genau nachlesen, wie die Untersuchung abläuft und worum es geht. Es sollen Bilder von Deinem Gehirn gemacht werden, während Du bestimmte Aufgaben löst. Wir wollen damit herausfinden, welche Regionen in Deinem Gehirn dabei arbeiten. Die Methode, die wir dazu verwenden heißt „**funktionelle Magnetresonanztomographie**“ (fMRT).

Für die „**funktionelle Magnetresonanztomographie**“ (fMRT) benutzen wir eine besondere Art von Aufnahmegerät, das aussieht wie eine Röhre mit einer Liege darin. Für die Untersuchung musst Du Dich auf diese Liege legen. Dein Kopf wird dabei in eine Art offenen Helm gelegt, mit dem wir die Bilder von Deinem Gehirn aufnehmen. Dabei ist es wichtig, dass Du entspannt und bequem liegst. Damit die Bilder gut werden, kommt es nämlich sehr darauf an, dass Du während der gesamten Untersuchung **ruhig liegst und Dich nicht bewegst**, damit die Bilder nicht verwackeln. Um dies zu erleichtern, wird Dein Kopf noch zusätzlich mit Polstern befestigt, ohne dass es weh tut. Über einen Projektor und einen Spiegel zeigen wir dir die Aufgaben, die du lösen sollst.

Mit der Liege wirst Du dann langsam in die Röhre des Aufnahmegerätes geschoben. Dort befindest Du Dich während der gesamten Untersuchung in einem starken Mag-

netfeld, das Du aber gar nicht spüren kannst und das auch nicht gefährlich ist. Während die Bilder von Deinem Gehirn aufgenommen werden, macht das Aufnahmegerät klopfende und piepsende Geräusche. Das ist ein bisschen laut, deswegen bekommst Du vor der Untersuchung Ohrenstöpsel von uns. Du Ganze wird ungefähr eine halbe Stunde dauern.

Während der gesamten Untersuchung ist eine Gegensprechanlage eingeschaltet, über die Du mit uns sprechen kannst und über die Du jederzeit gehört wirst, wenn Du etwas sagen möchtest. Zusätzlich bekommst Du einen Ball in die Hand, den Du drücken kannst, wenn Du meinst, dass etwas nicht in Ordnung ist. Dann bekommen wir ein Signal und können die Untersuchung unterbrechen.

Dein Name und andere Merkmale, an denen man Dich erkennen kann, werden durch ein Kennzeichen (z.B. eine Codenummer) ersetzt, so dass eine Zuordnung der Daten zu Dir als Person erschwert wird und nur über weitere Hilfsmittel möglich ist. Dieses Vorgehen heißt Pseudonymisierung. Diese Daten (d.h. diese pseudonymisierten Daten) werden ausschließlich zur wissenschaftlichen Auswertung benutzt. Der Datenschutz bleibt selbstverständlich gewahrt.

Bevor es richtig losgeht, werden Dir die Aufgaben genau erklärt, die Du dann im Aufnahmegerät durchführen sollst. Außerdem üben wir die Aufgaben gemeinsam, damit Du weißt, was Du machen musst. Falls Du dann noch irgendwelche Fragen haben solltest oder Dir sonst noch etwas unklar ist, kannst Du uns gerne jederzeit fragen.

Übrigens: Wenn Du möchtest, kannst Du später von uns ein Bild bekommen, das wir von Deinem Gehirn gemacht haben.

**Ich habe diese Informationen verstanden. Alle meine Fragen wurden beantwortet.**

\_\_\_\_\_  
Name des **Kindes/Jugendlichen** (in Druckbuchstaben)

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig vom  
Kind/Jugendlichen einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des Kindes/Jugendlichen

\_\_\_\_\_  
Name der aufklärenden **Fachkraft** (in Druckbuchstaben)

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig  
von der Fachkraft einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Fachkraft



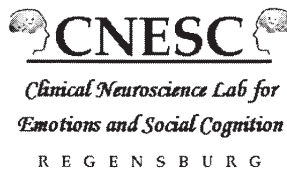
**Anhang B2: Aufklärung bezüglich der Durchführung der Studie für die Erziehungsberechtigten der teilnehmenden Kinder**



**Universität Regensburg**

Med. Einrichtungen des  
Bezirks Oberpfalz GmbH

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie,  
Psychosomatik und Psychotherapie  
der Universität Regensburg



**Zentrum für Emotionen und soziale Kognition  
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie  
der Universität Regensburg**

**Informationsblatt für Sorgeberechtigte  
zur funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT):**

Sehr geehrte (r) Sorgeberechtigte (r),

Ihr Kind hat sich bereit erklärt, an einer wissenschaftlichen Studie zur sozialen Wahrnehmung teilzunehmen. Dazu verwenden wir eine Kernspinuntersuchung (funktionelle Magnetresonanztomographie/ fMRT). Mithilfe von fMRT können Aufnahmen von biologischen Vorgängen im Gehirn gemacht werden. Während der Kernspinuntersuchung werden Ihrem Kind Bildergeschichten gezeigt. Basieren auf diesen Bildergeschichten soll Ihr Kind einfache Aufgaben bearbeiten. Die Untersuchung möchte herausfinden, welche Gehirnregionen während der Aufgabenbearbeitung aktiv sind.

Die Aufgaben, die Ihr Kind im Kernspin bearbeiten soll, werden vorher mit Ihrem Kind genau besprochen und ausprobiert. Die Untersuchung beruht auf der Wechselwirkung von Magnetfeldern und Radiowellen; es kommen weder Röntgenstrahlen noch Kontrastmittel zur Anwendung. Das Verfahren ist für die Gesundheit Ihres Kindes absolut ungefährlich. Die Magnetröhre des Kernspins ist offen und Ihr Kind hat jederzeit die Möglichkeit, über eine Gegensprechanlage Kontakt zu uns aufzunehmen sowie ein Signal auszulösen, falls etwas nicht in Ordnung ist. Das Wohlbefinden Ihres Kindes wird zu jedem Zeitpunkt fachgerecht überwacht. Störend könnten eventuell die Klopfgeräusche des Gerätes sein. Um Ihr Kind davor zu schützen, geben wir Ihrem Kind für die Dauer der Untersuchung Ohrstöpsel.

Die geplante fMRT-Untersuchung verwendet ausschließlich Messprotokolle, die der Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen dienen. Die Aufnahmen des Gehirns Ihres Kindes sind daher nur zur wissenschaftlichen Auswertung geeignet und können nicht als klinisch-diagnostische Befunde verwendet werden. Die Auflösung der hier verwendeten Aufnahmen ist nicht hoch genug, um Veränderungen in der Gehirnsubstanz, wie z.B. Tumore erkennen zu können. Nur Veränderungen sehr großen Umfangs können in diesen Aufnahmen sichtbar werden. Bitte beantworten Sie, ob Sie von uns in Kenntnis gesetzt werden möchte, falls sich bei ihrem Kind Auffälligkeiten in der Gehirnsubstanz zeigen sollten.

Ich möchte benachrichtigt werden. ☐

Ich möchte nicht benachrichtigt werden. ☐

Der Name Ihres Kindes und andere Identifikationsmerkmale werden durch ein Kennzeichen (z.B. eine Codenummer) ersetzt, so dass eine Zuordnung der Daten zu einer bestimmten Person erschwert wird und nur über weitere Hilfsmittel möglich ist. Diese sogenannten „pseudonymisierten“ Daten werden ausschließlich zur wissenschaftlichen Auswertung benutzt. Der Datenschutz bleibt selbstverständlich gewahrt.

Die Untersuchung wird mit Hilfe eines Magnetfeldes durchgeführt. Bei der Untersuchung darf Ihr Kind keine Metallteile mit sich führen, da es sonst zu Unfällen durch fliegende, vom Magnetfeld angezogene Metallgegenstände kommen kann. Daher muss Ihr Kind alle metallhaltigen Gegenstände im Wartezimmer ablegen (z.B. Uhren, Kreditkarten, Scheckkarten, Hörgerät, Brille, Ohringe, Piercings, Zahnprothesen, Haarspangen, Gürtelschnallen, Metallteile an der Kleidung, Kugelschreiber, Schlüssel, Geldmünzen in den Taschen)

Die Magnetfelduntersuchung kann bei bestimmten Situationen nicht durchgeführt werden. Um mögliche Risiken zu vermeiden, beantworten Sie bitte die folgenden Fragen:

Wurde Ihr Kind an Herz oder Kopf operiert? ja ☐ nein ☐

Trägt Ihr Kind einen Herzschrittmacher? ja ☐ nein ☐

Trägt Ihr Kind eine Insulinpumpe? ja ☐ nein ☐

Trägt Ihr Kind einen Nervenstimulator? ja ☐ nein ☐

Trägt Ihr Kind ein Hörgerät? ja ☐ nein ☐

Trägt Ihr Kind andere Implantate, die metallhaltig sein könnten? ja ☐ nein ☐

Befinden sich im Körper Ihres Kindes Metallteile, z.B. Zahnspangen, künstliche Gelenke, Gefäßklips, Granatsplitter, Schrauben oder ähnliches? ja ☐ nein ☐

Trägt Ihr Kind Hautklammern infolge einer Operation? ja ☐ nein ☐

Trägt Ihr Kind Piercings? ja ☐ nein ☐

Leidet Ihr Kind unter Platzangst? ja ☐ nein ☐

Liegt bei Ihrem Kind ein epileptisches Anfallsleiden vor? ja ☐ nein ☐

Wurde bei ihrem Kind ADS/ADHS/ADHD/Hyperaktivität oder ein Aufmerksamkeitsdefizit diagnostiziert? ja ☐ nein ☐

**Fragen speziell für Töchter:**

Trägt Ihre Tochter eine Spirale zur Verhütung? ja ☐ nein ☐

Besteht die Möglichkeit, dass Ihre Tochter schwanger ist? ja ☐ nein ☐

SONSTIGE BEMERKUNGEN \_\_\_\_\_

Wenn Sie etwas nicht verstanden oder noch Fragen haben, stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

**Ich habe diese Informationen verstanden. Alle meine Fragen wurden beantwortet.**

\_\_\_\_\_  
Name des/der **Sorgeberechtigten** (in Druckbuchstaben)

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig vom  
Sorgeberechtigten einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift des/der Sorgeberechtigten

\_\_\_\_\_  
Name der aufklärenden **Fachkraft** (in Druckbuchstaben)

\_\_\_\_\_  
Ort, Datum  
(eigenhändig von  
der Fachkraft einzutragen)

\_\_\_\_\_  
Unterschrift der Fachkraft

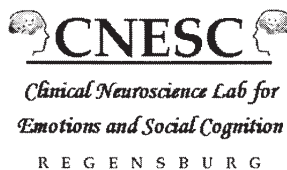
**Anhang B3: Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der vorliegenden Studie für Kinder und deren Erziehungsberechtigte**



**Universität Regensburg**

Med. Einrichtungen des  
Bezirks Oberpfalz GmbH

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie,  
Psychosomatik und Psychotherapie  
der Universität Regensburg



**Zentrum für Emotionen und soziale Kognition  
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie  
der Universität Regensburg**

**Einwilligungserklärung**

**des/der Sorgeberechtigten bzw. des Kindes/Jugendlichen  
zur wissenschaftlichen Studie zur Durchführung  
der funktionellen Magnetresonanztomographie**

Ich habe die vorstehenden schriftlichen Informationen für Kinder/Jugendliche bzw. Sorgeberechtigte sorgfältig gelesen. Darüber hinaus wurden mir der Zweck dieser Studie und die geplanten Untersuchungen, denen ich mich bzw. sich mein Kind unterziehen soll, genau erklärt. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, etwaige Bedenken zu besprechen und Fragen zu stellen. Dabei wurden alle meine Fragen beantwortet.

Durch die Unterzeichnung dieser Einverständniserklärung stimme ich zu, dass ich bzw. mein Kind an der Studie teilnehme/teilnimmt. Ich weiß, dass diese Zustimmung freiwillig ist und jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile für meine weitere medizinische Versorgung bzw. für die meines Kindes widerrufen werden kann. Ich weiß, dass die Aufnahmen des Gehirns meines Kindes nur zur wissenschaftlichen Auswertung geeignet sind und nicht als klinisch-diagnostische Befunde verwendet werden können.

Der Name meines Kindes und andere Identifikationsmerkmale werden durch ein Kennzeichen (z.B. eine Codenummer) ersetzt, so dass eine Zuordnung der Daten zu einer bestimmten Person erschwert wird und nur über weitere Hilfsmittel möglich ist. Die so pseudonymisierten Daten werden ausschließlich zur wissenschaftlichen Auswertung benützt. Der Datenschutz bleibt selbstverständlich gewahrt.

**Die gesetzlichen Datenschutzbestimmungen werden eingehalten.**

Ich habe eine Kopie der Information für Kinder/Jugendliche sowie der Einwilligungserklärung erhalten.

---

Name des/der **Sorgeberechtigten** (in Druckbuchstaben)

---

Ort, Datum  
(eigenhändig vom  
Sorgeberechtigten einzutragen)

---

Unterschrift des/der Sorgeberechtigten

---

Name des **Kindes/Jugendlichen** (in Druckbuchstaben)

---

Ort, Datum  
(eigenhändig vom  
Kind/Jugendlichen einzutragen)

---

Unterschrift des Kindes/Jugendlichen

---

Name der aufklärenden **Fachkraft** (in Druckbuchstaben)

---

Ort, Datum  
(eigenhändig  
von der Fachkraft einzutragen)

---

Unterschrift der Fachkraft

**Anhang C: Erhebung der Stammdaten der teilnehmenden Kinder**

**STAMMDATEN**

Datum: \_\_\_\_\_

Studiennr.: \_\_\_\_\_ Von wem erhoben: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_ Geb. Dat.: \_\_\_\_\_

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Händigkeit: ☐ rechts ☐ links ☐ beides

Familienstand: ☐ ledig  
☐ in Partnerschaft lebend  
☐ verheiratet  
☐ geschieden  
☐ verwitwet

Schulbildung: ☐ Hauptschule  
☐ Realschule  
☐ (Fach-) Abitur  
☐ (Fach-) Hochschule  
☐ kein Abschluss  
☐ keine Angabe

Beruf: ☐ in Ausbildung  
☐ berufstätig  
☐ arbeitslos  
☐ berentet  
☐ keine Angabe

Ausbildungszeit insgesamt in Jahren (Schulzeit + Berufsausbildung bzw. Studium):

Sind Mitglieder Ihrer Familie schon einmal in psychiatrischer Behandlung gewesen?

- ☐ Großeltern, wenn ja warum: \_\_\_\_\_
- ☐ Onkel / Tanten, wenn ja warum: \_\_\_\_\_
- ☐ Eltern, wenn ja warum: \_\_\_\_\_
- ☐ Geschwister, wenn ja warum: \_\_\_\_\_

Beteiligung an anderen Studien: \_\_\_\_\_





## Danksagung

Ein herzliches Dankeschön möchte ich all denen sagen, die es ermöglicht haben, dass die hier vorliegende Doktorarbeit verfasst werden konnte und die mit ihrer Unterstützung zum Gelingen der Studie sowie der Arbeit beigetragen haben:

Allen voran gilt mein Dank meiner Kollegin und Mitstreiterin Frau Dipl.-Psych. Julia Preidel. Ohne sie hätte ich wahrscheinlich nie die Gelegenheit bekommen, an einer so spannenden Studie mitzuwirken, da sie mich erst darauf aufmerksam gemacht und dann zur Mitarbeit verpflichtet hat. Außerdem konnte ich mit ihr durchweg hervorragend zusammenarbeiten und trotz der manchmal langen Tage verging uns nie die Freude an der gemeinsamen Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei der gesamten Arbeitsgruppe CNESC am Bezirksklinikum Regensburg bedanken für das tolle Arbeitsklima und die produktive Energie. Besonders herausheben möchte ich dabei zwei Personen:

- Frau Dr. Kerstin Eichenmüller, die uns bei der Durchführung der Studie sowie bei der Erstellung so manchen Vortrags tatkräftig unterstützt hat und sich außerdem getraut hat, regelmäßig (berechtigte!) Kritik zu üben, diese jedoch immer konstruktiv und motivierend formuliert hat und
- Frau PD Dr. Monika Sommer, die mir bei der Erstellung der hier vorliegenden Arbeit mit Rat und Tat zur Seite stand, bei Fragen immer ein offenes Ohr hatte und sich trotz ihres überfüllten Terminkalenders immer gerne Zeit nahm.

Nicht zuletzt geht mein Dank an meinen Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Göran Hajak, für seine Kompetenz und sein Fachwissen sowie dafür, dass er trotz seiner vielfältigen Aufgaben, zuerst am Bezirksklinikum Regensburg und dann in der Sozialstiftung Bamberg, Zeit gefunden hat, sich für die Forschung in unserer Arbeitsgruppe zu interessieren.

Zum Schluss ein herzliches Dankeschön an die vier mitwirkenden Grundschulen in Regensburg für die Erlaubnis, dort Elternbriefe zu verteilen und dadurch mögliche interessierte Versuchspersonen auf die Studie aufmerksam zu machen, nämlich die

Wolfgangsschule (Herr Brinsteiner)  
Grundschule Königswiesen (Frau Gürtler)  
Schule St. Nikola (Herr Schmidt)  
Von-der-Tann-Schule (Herr Paulus)

sowie an die Hauptpersonen, die teilnehmenden Kinder,  
Anton Graf von Walderdorff  
Joshua Laugo Drückler

Sophia Fleischner  
Edith Nwakanma  
Jakob Koch  
Maximilian Reischl  
Julia Blechle  
Nadja Fischer  
Clemens Wagner  
Suliman Bayou  
Yildiz Serda Ayhan  
Oliver Mayer  
Emil Münz  
Wolfgang Dürrmeier  
Andreas Enzmann  
David Wiegrebe  
Kathrin Watzlawik  
Rosina Duscher  
Kathleen Kepi  
Céline Strohmeier  
Lisa Amrein  
Victoria Heger  
Johanna Riegelsberger  
Sara Ondrusek  
Viktor Ondrusek  
Charlotte Lehmann  
Elisabeth Fehle  
Sissi Kupf  
Lukas Rother  
Markus Amann

und deren Eltern und Erziehungsberechtigte für die geopfert Zeit und das Interesse, nicht zu vergessen auch den Spaß und die Freude, die ihr uns bei der Durchführung der Studie bereitet habt.

## Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wörth/Donau, den 20.08.2013

Sophie Kilp



## Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wörth/Donau, den 20.08.2013

Sophie Kilp